



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**LETECKÝ ÚSTAV**

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

**NÁVRH PODVOZKU MALÉHO DVOUMÍSTNÉHO  
LETOUNU**

LANDING GEAR DESIGN OF TWO-SEAT AIRPLANE

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Tomáš Čavojský**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. František Vaněk, Ph.D.**

**BRNO 2021**



# Zadaní diplomové práce

Ústav: Letecký ústav  
Student: Bc. Tomáš Čavojský  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Stavba letadel  
Vedoucí práce: Ing. František Vaněk, Ph.D.  
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Návrh podvozku malého dvoumístného letounu

**Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Předmětem práce je návrh podvozku malého sportovního letounu dle příslušného předpisu. Provedte konstrukční návrh a pevnostní kontrolu podvozku a jeho zástavby.

**Cíle diplomové práce:**

1. Posouzení dostupných technických řešení
2. Návrh konstrukce podvozku a jeho zástavby
3. Výpočet zatížení podvozku
4. Pevnostní kontrola podvozku a jeho zástavby
5. Výrobní dokumentace

**Seznam doporučené literatury:**

PAZMANY, L.: Landing gear design for light aircraft. San Diego, Calif.: Pazmany Aircraft Corp., 1986.

ISBN 0961677708.

CURREY, N. S.: Aircraft landing gear design: principles and practices. Washington, D.C.: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1988. ISBN 0930403-41-X.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty



## **ANOTÁCIA**

Táto diplomová práca sa zaoberá návrhom podvozku malého dvojmiestneho letúnu. Úvod práce sa zameriava na koncepčné usporiadanie podvozku a vytvorenie výpočtového modelu dynamických charakteristík tlmenia pre potreby návrhu tlmičov. Praktická časť je zameraná na samotný návrh pristávacieho zariadenia podľa zvolených parametrov vyplývajúcich z koncepčného a výpočtového modelu, pričom je zakončená pevnostným výpočtom a výrobnou dokumentáciou.

## **KLÚČOVÉ SLOVÁ**

pristávacie zariadenie, predná podvozková noha, hlavná podvozková noha, tlmič

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with the landing gear design of the small two-seat aircraft. The introduction focuses on the conceptual gear design and shock absorber computational dynamic characteristic model. The practical part is focused on the landing gear construction according to the selected parameters based on the conceptual and computational model. The diploma thesis ends with strength calculations and production documentation.

## **KEYWORDS**

landing gear, nose landing gear, main landing gear, shock absorber

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA**

ČAVOJSKÝ, Tomáš. Návrh podvozku malého dvoumístného letounu. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132321>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce František Vaněk.



## ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Ja, Bc. Tomáš Čavojský, prehlasujem, že som túto diplomovú prácu na tému „Návrh podvozku malého dvojmiestného letounu“ vypracoval samostatne pod vedením svojho vedúceho práce s použitím odbornej literatúry uvedenej v zozname na konci tejto práce.

V Brne 21.mája.2021

.....  
Bc. Tomáš Čavojský



## **POĎAKOVANIE**

Ďakujem Ing. Františkovi Vaňkovi, Ph.D za odborné a cenné rady, trpezlivosť i vľúdnosť počas konzultácií. Taktiež ďakujem firmám Czech Aircraft Group a Uranos R&D a jej odborným konzultantom, za poskytnutie všetkých potrebných dát a rád počas návrhu. Nakoniec moja vďaka patrí mojim rodičom a celej rodine za neúnavnú podporu počas celého štúdia.



## OBSAH

ÚVOD.....	15
1. PRISTÁVACIE ZARIADENIE[1][2][3].....	17
1.1. Druhy pristávacích zariadení.....	17
1.1.1. Delenie pristávacích zariadení vzhľadom na koncepčné usporiadanie pristávacieho zariadenia.....	17
1.1.2. Delenie pristávacích zariadení vzhľadom k polohe počas letu.....	19
1.1.3. Delenie pristávacích zariadení vzhľadom na druh tlmenia [6].....	20
1.1.4. Delenie pristávacích zariadení vzhľadom na kinematický mechanizmus	22
2. CHARAKTERISTIKA LETÚNU.....	23
3. KONCEPČNÝ NÁVRH PRISTÁVACIEHO ZARIADENIA .....	25
3.1. Hlavná podvozková noha (HPN) .....	25
3.1.1. Kinematický popis hlavnej podvozkovej nohy.....	26
3.2. Predná podvozková noha (PPN) .....	27
3.2.1. Kinematika prednej podvozkovej nohy .....	28
3.3. Posun ťažiska .....	28
4. HMOTOVÝ ROZBOR .....	30
4.1. Hmotová obálka .....	32
5. ANALÝZA POZEMNÉHO ZAŤAŽENIA PODĽA CS-VLA [15] .....	34
5.1. Statické zaťaženie .....	34
5.2. Stanovenie klesacej rýchlosti .....	34
5.3. Násobok zotrvačných síl .....	34
5.4. Vodorovné pristátie zo sklonenými reakciami.....	35
5.4.1. Predná podvozková noha .....	35
5.4.2. Hlavná podvozková noha.....	36
5.5. Vodorovné pristátie s predňovým kolesom tesne nad zemou .....	36
5.5.1. Predná podvozková noha .....	36
5.5.2. Hlavná podvozková noha.....	36
5.6. Pristátie s veľkým uhlom pozdĺžneho sklonu .....	37
5.6.1. Predná podvozková noha .....	37
5.6.2. Hlavná podvozková noha.....	37
5.7. Pristátie na jedno koleso.....	37
5.8. Podmienky brzdenia pri pojazde .....	37
5.8.1. Predná podvozková noha .....	38
5.8.2. Hlavná podvozková noha.....	38
5.9. Bočné zaťaženie .....	38
5.10. Dodatočné podmienky pre prednú podvozkovú nohu.....	39
5.10.1. Zaťaženie smerom dozadu.....	39
5.10.2. Zaťaženie smerom dopredu .....	39
5.10.3. Bočné zaťaženie.....	40
6. NÁVRH TLMIČOV PRISTÁVACIEHO ZARIADENIA .....	41
6.1. Stlačenie PU elementu .....	41

6.1.1.	Statické a dynamické správanie PU elementu [17].....	41
6.1.2.	PU element tlmiča prednej podvozkovej nohy .....	42
6.1.3.	PU element tlmiča hlavnej podvozkovej nohy.....	43
6.2.	Stlačenie pneumatiky [14] .....	43
6.3.	Sily do tlmiča prednej podvozkovej nohy .....	46
6.4.	Sily do tlmiča hlavnej podvozkovej nohy .....	46
6.5.	Proces riešenia geometrie pristávacieho zariadenia .....	46
6.6.	Výsledky analýzy .....	48
6.6.1.	Vodorovné pristátie s pried'ovým kolesom tesne nad zemou (geometria HPN) 48	
6.6.2.	Vodorovné pristátie so sklonenými reakciami (geometria PPN).....	50
7.	VÝPOČET POZEMNÉHO ZAŤAŽENIA PODĽA CS-VLA .....	52
7.1.	Statické zaťaženie .....	52
7.1.1.	Hlavná podvozková noha .....	52
7.1.2.	Predná podvozková noha .....	53
7.2.	Vodorovné pristátie so sklonenými reakciami .....	54
7.3.	Vodorovné pristátie s pried'ovým kolesom tesne nad zemou.....	54
7.4.	Pristátie s veľkým uhlom pozdĺžneho sklonu.....	54
7.5.	Pristátie na jedno koleso .....	55
7.6.	Podmienky brzdenia pri pojazde .....	55
7.6.1.	Predná podvozková noha .....	55
7.6.2.	Hlavná podvozková noha .....	55
7.7.	Bočné zaťaženie.....	55
7.8.	Dodatočné podmienky pre prednú podvozkovú nohu .....	55
7.8.1.	Zaťaženie smerom dozadu .....	55
7.8.2.	Zaťaženie smerom dopredu.....	56
7.8.3.	Bočné zaťaženie .....	56
7.9.	Zhrnutie .....	56
8.	VZDIALENOSŤ VRTUĽA-ZEM (CLEARANCE).....	58
9.	KONŠTRUKČNÝ NÁVRH HPN .....	60
9.1.	Hlavná trubka HPN .....	61
9.2.	Pohyblivá časť HPN .....	62
9.3.	Tlmič.....	62
9.4.	Spojenie .....	63
10.	KONŠTRUKČNÝ NÁVRH PPN.....	64
10.1.	Tlmič .....	65
10.2.	Trubka PPN.....	65
10.3.	Uloženie PPN.....	67
11.	MKP ANALÝZA.....	68
11.1.	HPN.....	68
11.1.1.	Hlavná trubka, pohyblivá časť .....	68
11.1.2.	Uloženie tlmiča .....	70



11.1.3. Telo tlmiča .....	71
11.1.4. Zhrnutie MKP HPN [19][20][21][22] .....	72
11.2. PPN.....	73
11.2.1. Trubka PPN, Vidlica, Horné a Dolné uloženie.....	73
11.2.2. Telo tlmiča .....	75
11.2.3. Príruba.....	76
11.2.4. Zhrnutie MKP PPN [19][20][21][22] .....	77
ZÁVER .....	78
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY .....	79
ZOZNAM SKRATIEK A OZNAČENÍ .....	81



# ÚVOD

Predložená diplomová práca sa zameriava na návrh podvozku malého dvojmiestneho letúnu, ktorým je PS-28 Cruiser od firmy Czech Aircraft Group. Motiváciou pre vytvorenie tejto práce je snaha zadávateľa o funkčnú zmenu pristávacieho zariadenia s cieľom redukovať hmotnosť, znížiť prevádzkový pristávací násobok, rovnako ako zjednodušiť výrobný proces respektíve minimalizovať výrobné náklady.

V úvode tejto práce je uvedená krátka rešerš v oblasti pristávacích zariadení. Rešerš je zameraná primárne na oblasť letúnov typu Light Sport Aircraft (LSA) a definuje smer návrhu a prvé koncepčné parametre potrebné k návrhu nového pristávacieho zariadenia.

Návrh pokračuje koncepčným návrhom a kinematickým rozborom, na ten nadväzuje hmotový rozbor. Pre vybrané letové konfigurácie je vytvorená hmotová obálka zobrazujúca návrhové hmotnosti a polohy centráží letúnu.

Významnou časťou celej práce je výpočet tlmiacich charakteristík a návrh tlmiča zloženého z polyuretánových elementov. Návrh geometrie tlmiča respektíve celej podvozkovej nohy priamo nadväzuje, pričom rešpektuje geometriu doposiaľ používanú a dobre odskúšanú.

Vyplývajúci konštrukčný návrh predného i hlavného podvozku je overený pevnostným výpočtom. Výpočet využíva metódu konečných prvkov (MKP). Pre validáciu zvolenej metódy je využité analytické overenie v charakteristickom reze.

Návrh je zakončený výkresovou dokumentáciou.



# 1. PRISTÁVACIE ZARIADENIE[1][2][3]

Pristávacie zariadenie je chápané ako zariadenie slúžiace pre vzlet a pristátie letúnu.

Letecká prevádzka však kladie na pristávacie zariadenie i mnoho nutných sekundárnych požiadaviek.

Pristávacie zariadenie musí

- byť schopné dostatočne tlmiť a prenášať silové zaťaženie do okolitej konštrukcie
- umožňovať letúnu jednoduché manévrovanie na zemi (rolovanie, vzlet a pristátie)
- byť schopné spomaliť letún po pristátí, resp. pri prerušenom vzlete
- mať dostatočnú spoľahlivosť
- umožniť jednoduchú údržbu a obsluhu
- mať nízku nákladovosť výroby

## 1.1. Druhy pristávacích zariadení

Vzhľadom k rôznorodosti používaných druhov pristávacích zariadení v praxi, je nutné bližšie špecifikovať z akého hľadiska budú uvedené pristávacie zariadenia porovnávané. Tento dokument analyzuje zásadne typy pristávacích zariadení využitých v praxi. Ďalej sa zaoberá len zariadeniami určenými na pohyb, vzlet a pristátie na pevnej pristávacej dráhe, t.j. špeciálne druhy pristávacích zariadení určených na vzlet na vodných plochách (plaváky) v tejto rešerši zahrnuté nebudú i keď ich v danej kategórii niekoľko letúnov využíva.

Pristávacie zariadenie možno deliť do niekoľkých skupín

- vzhľadom na koncepčné usporiadanie
- vzhľadom k polohe podvozku počas letu
- vzhľadom na druh tlmenia
- vzhľadom na kinematický mechanizmus

### 1.1.1. Delenie pristávacích zariadení vzhľadom na koncepčné usporiadanie pristávacieho zariadenia

#### a) Pristávacie zariadenie s ostrohovým kolesom

U tohto druhu je hlavná podvozková noha umiestnená pred ťažiskom letúnu. Vedľajšia podvozková noha sa v tomto prípade nazýva ostrohové koleso. Ostrohové koleso býva zvyčajne upevnené v oblasti zadného kornútu trupu, často je určitým spôsobom riadené, môže však byť i úplne voľné.

Výhody

- + Nižšia hmotnosť
- + Nižšia konštrukčná obtiažnosť
- + Nižšia cena

### Nevýhody

- Zhoršený výhľad pilotov na vzletovú pristávaciu dráhu (VPD)
- Náročná pilotáž pri vzlete
- Náročná pilotáž pri pristátí
- Nestabilita pri brzdení
- Vyššia náchylnosť letúnu na rotáciu okolo zvislej osy



Obr. 1.1 S-20 Raven [4]

### b) Pristávacie zariadenie s pried'ovým kolesom

U tohto druhu je hlavná podvozková noha umiestnená za ťažiskom letúnu. Predná podvozková noha je v tomto prípade umiestnená v prednej časti trupu a zvyčajne preberá väčší podiel zaťažujúcej sily ako ostroha.

### Výhody

- + Dobrý výhľad pilotov
- + Jednoduchší vzlet
- + Jednoduchšie pristátie
- + Stabilnejšie vzhľadom na vybočenie
- + Letún sa nemôže prevrátiť na nos

### Nevýhody

- Zvýšená hmotnosť
- Zvyčajne vyšší odpor
- Väčšia zložitosť a výrobné náklady
- Porucha prednej podvozok nohy spôsobuje omnoho vážnejšiu situáciu než u porucha ostrohového kola



Obr. 1.2 Sport Cruiser [5]

### 1.1.2. Delenie pristávacích zariadení vzhľadom k polohe počas letu

#### a) Zaťahovací podvozok

Podvozok je za letu zasunutý v aerodynamickom kryte, čím sa redukuje jeho vplyv na aerodynamické vlastnosti celého letúnu, pričom možno dosiahnuť vyšších maximálnych rýchlostí.

##### Výhody

- + Vyššia aerodynamická čistota letúnu
- + Vyššia maximálna rýchlosť

##### Nevýhody

- Vyššia konštrukčná náročnosť
- Vyššia hmotnosť
- Vyššie výrobné náklady

#### b) Pevný podvozok

Podvozok je za letu pevne spojený s drakom letúnu. Zvyčajne sa u tejto kategórie jedná o podvozok upevnený do trupu letúnu, no možno sa stretnúť i s podvozkom upevneným v krídle.

##### Výhody

- + Nižšie výrobné náklady
- + Nižšia konštrukčná náročnosť
- + Zvyčajne nižšia hmotnosť (v prípade použitia aerodynamických krytov sa môže hmotnosť vyrovnáť podvozku zaťahovaciemu )

##### Nevýhody

- Nižšia aerodynamická čistota letúnu
- Nižšia maximálna rýchlosť

### 1.1.3. Delenie pristávacích zariadení vzhľadom na druh tlmenia [6]



Obr. 1.3 Gumové tlmenie (upravené) [7]



Obr. 1.4 Olej-pneumatické tlmenie (upravené) [8]



Obr. 1.5 Pružinové tlmenie (upravené) [9]

Podľa účinnosti:

- |                            |     |
|----------------------------|-----|
| • Pružinové tlmenie        | 50% |
| • Gumové tlmenie           | 60% |
| • Olej-pneumatické tlmenie | 80% |

Podľa pomeru účinnosť / hmotnosť:

- |                            |     |
|----------------------------|-----|
| • Pružinové tlmenie        | 7%  |
| • Gumové tlmenie           | 10% |
| • Olej-pneumatické tlmenie | 80% |

#### a) Gumené tlmenie

Tlmič tvorený zvyčajne polyuretánovými elementmi. Tento druh sa prednostne používa pre predné podvozkové nohy letúnov LSA tak ako pri letúne Sport Crusier. Tento druh tlmiča možno použiť i pre hlavné podvozkové nohy.



#### Výhody:

- + Jednoduchosť
- + Spoľahlivosť
- + Schopnosť jednoduchej opravy
- + Nízka cena
- + Nižšie nároky na presnosť výroby elementov

#### Nevýhody

- Nízka účinnosť
- Vyššia hmotnosť

#### b) Pružinové tlmenie

Prednostne využívaný spôsob tlmenia pri letúnoch typu LSA ako hlavná podvozková noha. Skôr vyrábaná prevažne z pružinovej ocele, u moderných letúnov často nahradzovaná vrstveným laminátom. Tento druh podvozku je vždy upevnený do trupu letúnu.

#### Výhody

- + Jednoduchosť
- + Spoľahlivosť
- + Schopnosť jednoduchej opravy

#### Nevýhody

- Nižšia účinnosť
- Náročnejšia výroba
- Vyššia hmotnosť

#### c) Olej-pneumatické tlmenie

Najpoužívanejšie tlmenie v oblasti letectva, najviac využívané v oblasti veľkých dopravných lietadiel typu CS-25 prípadne CS-23. Pre typ LSA sa takmer nevyužíva. Keď letún pristane, olej zo spodnej komory je vtlačený do komory hornej pričom dochádza k utlmeniu pristávacieho rázu.

#### Výhody

- + Vysoká účinnosť
- + Najvyššia disipácia energie
- + Nízka hmotnosť

#### Nevýhody

- Vyššia cena
- Náročná oprava
- Vyššia cena výroby

#### 1.1.4. Delenie pristávacích zariadení vzhľadom na kinematický mechanizmus

##### a) Pákový podvozok

Podvozok rotuje okolo zvoleného bodu a tým vytvára tlak do tlmiča (Obr. 1.4). Tento druh mechanizmu sa využíva v prípade olej - pneumatického alebo gumového tlmenia.

Výhoda:

- + Jednoduchší prenos zaťaženia (prenos vertikálnej i horizontálnej sily)

Nevýhoda

- Nelineárny priebeh stlačenia
- Náročný návrh

##### b) Teleskopický podvozok

Podvozok vytvára vertikálny pohyb, ktorým vytvára tlak do tlmiča (Obr.1.6). Tento druh mechanizmu sa využíva v prípade olej - pneumatického alebo gumového tlmenia.

Výhoda

- + Lineárny priebeh stlačenia
- + Náročný návrh

Nevýhoda:

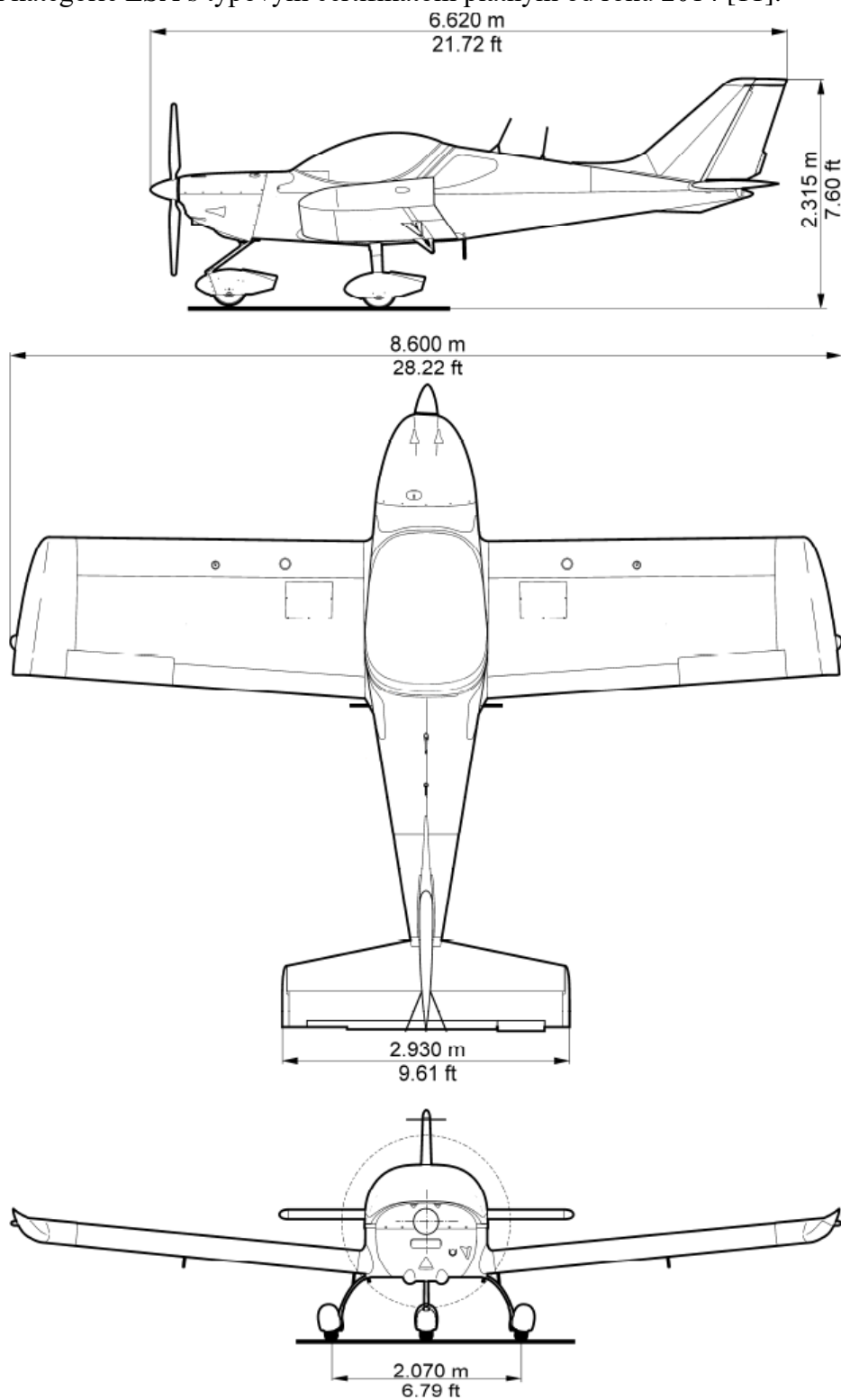
- Obtiažnejší prenos zaťaženia (prenos vertikálnej i horizontálnej sily)



Obr. 1.6 Teleskopický podvozok (upravené) [10]

## 2. CHARAKTERISTIKA LETÚNU

Vybraným letúnom je PS-28 Cruiser od firmy Czech Aircraft Group. PS-28 Cruiser je letún kategórie LSA s typovým certifikátom platným od roku 2014 [11].



Obr. 2.1 Muška letúnu PS-28 Cruiser [12]

### Základné parametre letúnu PS-28 Cruiser [11][12]

<b>Rozpätie letúnu</b>	8,600 <i>m</i>
<b>Dĺžka</b>	6,620 <i>m</i>
<b>Výška</b>	2,315 <i>m</i>
<b>Plocha krídla</b>	12,3 <i>m</i> <sup>2</sup>
<b>Rázvor kolies</b>	1,5 <i>m</i>
<b>Stredná aerodynamická tetiva</b>	1,5 <i>m</i>
<b>Motor</b>	
<b>Výrobca</b>	BRP-Powertrain GmbH&Co.KG
<b>Model</b>	912 S2/ ULS2
<b>Maximálny výkon motor</b>	73,5kW pri 5,8 ot./min
<b>Vrtuľa</b>	
<b>Typ č.1</b>	
<b>Výrobca</b>	WOODCOMP s.r.o
<b>Model</b>	KLASSIC 170/3/R
<b>Počet listov</b>	3
<b>Priemer vrtule</b>	1,712 <i>m</i>
<b>Typ č.2</b>	
<b>Výrobca</b>	SENSENICH
<b>Model</b>	SENSENICH 3B0R5R68C
<b>Počet listov</b>	3
<b>Priemer vrtule</b>	1,727 <i>m</i>
<b>Maximálna vzletová hmotnosť</b>	600 <i>kg</i>
<b>Počet sedadiel</b>	2
<b>Maximálna hmotnosť pilota</b>	115 <i>kg</i>
<b>Minimálna hmotnosť pilota</b>	55 <i>kg</i>
<b>Batožinový priestor v trupe</b>	18 <i>kg</i>
<b>Batožinový priestor v krídle</b>	10 <i>kg</i>
<b>Kapacita nádrží</b>	82 <i>kg</i> paliva AVGAS
<b>Rozsah prevádzkových centrží</b>	28 – 35 % SAT
<b>Prázdna hmotnosť</b>	386 <i>kg</i> ± 2 %
<b>Rozsah centrží prázdneho letúnu</b>	28,5 – 29,5 % SAT

### 3. KONCEPČNÝ NÁVRH PRISTÁVACIEHO ZARIADENIA

Poloha kolies voči draku letúnu ani ich rázvor a rozchod sa nemení, rovnako ako typ pneumatiky, disku a ostatných parametrov letúnu uvedených v predošlej kapitole.

#### 3.1. Hlavná podvozková noha (HPN)

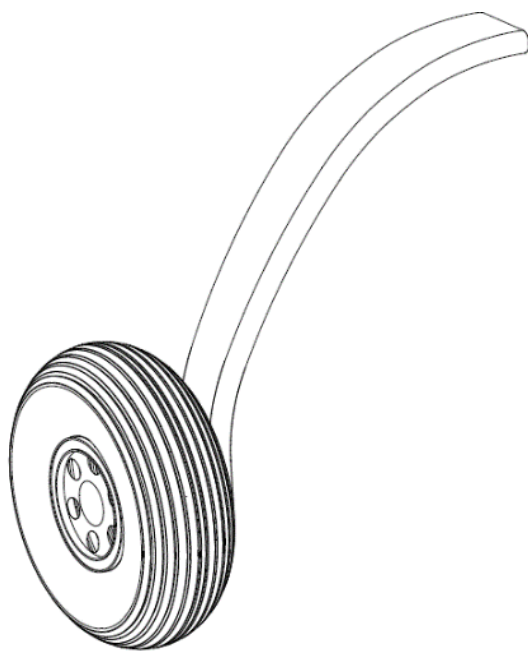
Hlavným nedostatkom vstávajúceho podvozku je:

- vyššie zaťaženie konštrukcie

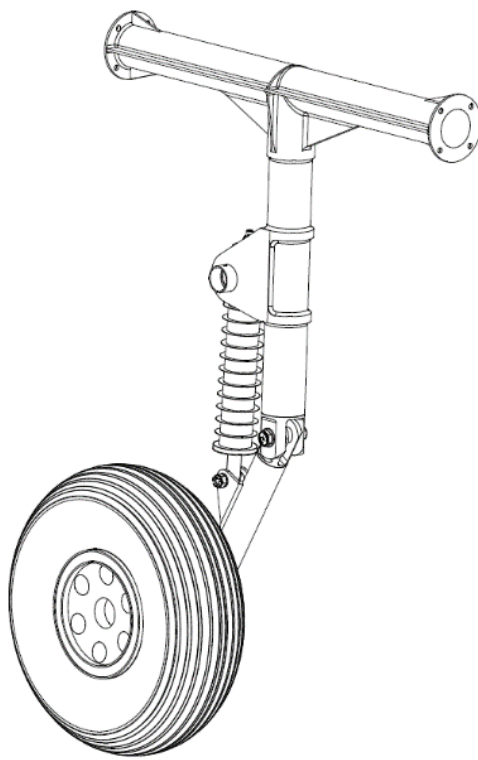
Cieľom konštrukčného návrhu je:

- znížiť zaťaženie konštrukcie
- preskúmať možnosť náhrady súčasného podvozku s ohľadom na váhu a náročnosť zástavby

Súčasným hlavným podvozkom letúnu PS-28 Cruiser je pružinový podvozok upevnený priamo do konštrukcie trupu (zobrazený na Obr. 4.3). Z rešerše dostupných technických riešení je podľa záujmov zadávateľa práce zvolená konfigurácia HPN s upevnením v krídle letúnu.



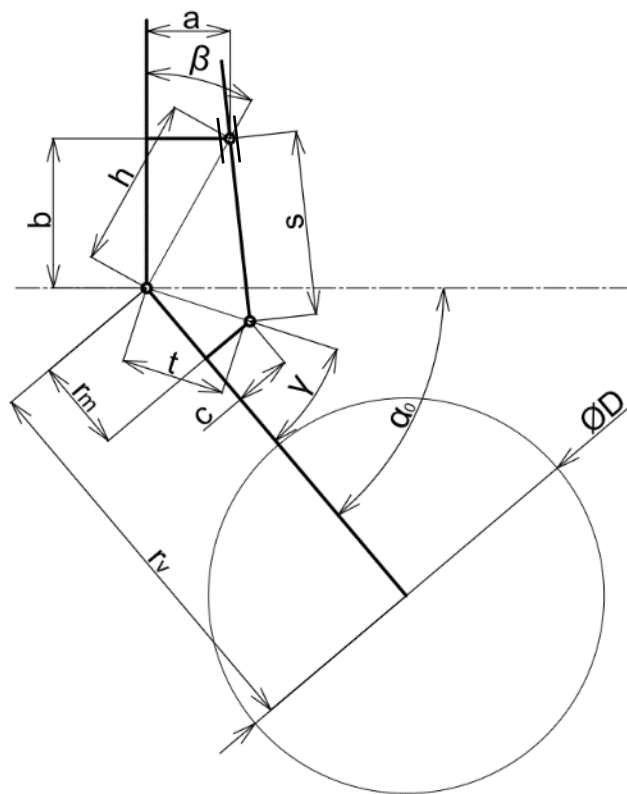
Obr. 3.1 Sériová HPN PS-28 Cruiser [14]



Obr. 3.2 Nová HPN PS-28 Cruiser

Kinematicky model je zobrazený na obrázku nižšie.

Kinematicky model je zobrazený na obrázku nižšie.



Obr. 3.3 Kinematický model hlavnej podvozkovej nohy

Pre zmenu parametra  $s$  (ďalej len geometrické stlačenie tlmiča hlavného podvozku) platí :

$$\Delta S = s_0 - s_x \quad [m] \quad (3.1)$$

Pre dĺžku parametra  $s$  v akejkol'vek polohe platí

$$s = \sqrt{t^2 + h^2 - 2 \cdot t \cdot h \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} + \alpha_0 - \beta - x - \gamma\right)} \quad [m] \quad (3.2)$$

Pre parameter  $t$  platí

$$t = \sqrt{r_m^2 + c^2} \quad [m] \quad (3.3)$$

Pre parameter  $h$  platí

$$h = \sqrt{a^2 + b^2} \quad [m] \quad (3.4)$$

Pre uhol  $\gamma$  platí

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{c}{r_m} \quad [^\circ] \quad (3.5)$$

Pre uhol  $\beta$  platí

$$\beta = \tan^{-1} \frac{a}{b} \quad [^\circ] \quad (3.6)$$

V prípade parametra  $s_0$  je zmena uhlu nastavenia podvozku  $x$  nulová.

Pre posun osi kolesa platí

$$s_{vh} = s_{hpneu} + s_{vth} \quad [m] \quad (3.7)$$

Kde

- $s_{vh}$  — Celkové stlačenie hlavnej podvozkovej nohy  
 $s_{pneu}$  — Stlačenie pneumatiky  
 $s_{vth}$  — Vertikálny posun osi spôsobený prepružením tlmiča

Pre  $s_{vth}$  platí

$$s_{vth} = r_v \cdot \sin \alpha_0 - r_v \cdot \sin(\alpha_0 - x) \quad [mm] \quad (3.8)$$

### 3.2. Predná podvozková noha (PPN)

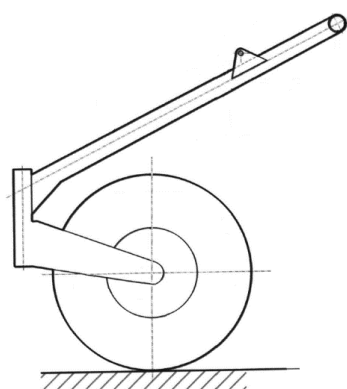
Hlavným nedostatkom vstávajúceho podvozku je:

- zvoleným prepákováním vysoké zaťaženie okolitej konštrukcie,
- náročnejšia výroba,
- vyššia hmotnosť
- nemožnosť zatáčania

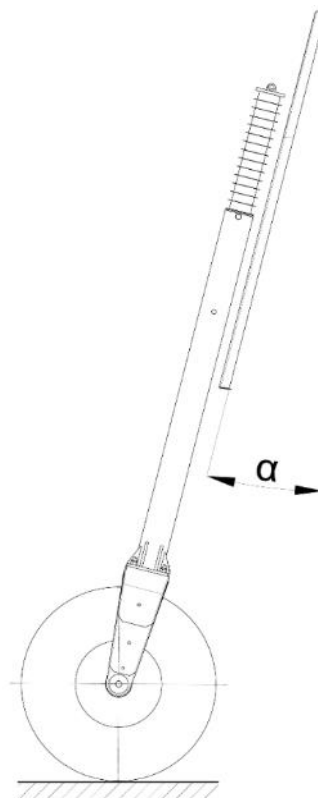
Cieľom konštrukčného návrhu je:

- znížiť zaťaženie okolitej konštrukcie
- znížiť náročnosť výroby
- znížiť hmotnosť
- umožniť zatáčanie

Podľa výsledku rešerše je vhodným konštrukčným usporiadaním jednoduchá teleskopická konfigurácia. Noha je upevnená priamo na požiarnu prepážku, pričom osa tlmiča tejto nohy je s prepážkou rovnobežná.



Obr. 3.4 Sériová PPN PS-28 Cruiser



Obr. 3.5 Nová PPN PS-28 Cruiser

### 3.2.1. Kinematika prednej podvozkovej nohy

Pre stlačenie podvozkovej nohy platí

$$s_{vp} = s_{ppneu} + s_{vtp} \quad [m] \quad (3.9)$$

kde

$s_{vp}$  — Celkové stlačenie prednej podvozkovej nohy

$s_{pneu}$  — Stlačenie pneumatiky

$s_{vtp}$  — Vertikálny posun osi spôsobený prepružením tlmiča

Pre  $s_{vtp}$  platí

$$s_{vtp} = s_{vp} \cdot \cos(\alpha) \quad [m] \quad (3.10)$$

kde

$\alpha$  — Uhol zvieraný tlmičom (príp. požiarnou prepážkou) s osou kolmou na dráhu

Uhol  $\alpha$  v prípade letúnu PS-28 Cruiser je rovný hodnote

$$\alpha = \tan^{-1} k \quad [^\circ] \quad (3.11)$$

kde

$k$  — Podľa CS-VLA dodatok C nadobúda hodnoty 0,25 pre hmotnosť nižšiu než 1361 kg

$$\alpha = \tan^{-1} 0,25 = 14^\circ$$

### 3.3.Posun ťažiska

Posun ťažiska je závislý na polohe ťažiska vzhľadom k polohe jednotlivých podvozkových nôh a taktiež veľkosti prepruženia ako prednej, tak hlavnej podvozkovej nohy.

V tomto prípade platí

$$a_0 = 0,712 + \bar{x}_T \cdot c_{SAT} \quad [m] \quad (3.12)$$

$$b_0 = c_0 - a_0 \quad [m] \quad (3.13)$$

kde

$c_0$  — Rázvor kolies

$a_0$  — Vzdialenosť prednej podvozkovej nohy od ťažiska

$b_0$  — Vzdialenosť hlavnej podvozkovej nohy od ťažiska

Pričom konštanta 0,712 m odpovedá vzdialenosti medzi bodom dotyku kola prednej podvozkovej nohy a referenčnými bodom uvedeným na Obr. 4.1

Po kompenzácií o prepruženie tlmičov pre ramená platí

$$a_z = a_0 - \frac{s_{vth}}{1000} \cdot \tan \alpha \quad [m] \quad (3.14)$$

$$b_z = b_0 + \frac{r_v}{1000} \cdot \cos(\alpha_0 - x) - \frac{r_v}{1000} \cdot \cos(\alpha_0) \quad [m] \quad (3.15)$$

$$c_z = a_z + b_z \quad [m] \quad (3.16)$$

Pre posun spôsobený stlačením pneumatík platí

$$s_{tpneu} = \frac{s_{hpneu} + s_{ppneu}}{c_z} \cdot a_z + s_{ppneu} \quad [m] \quad (3.17)$$



Pre posun spôsobený stlačením tlmiča platí:

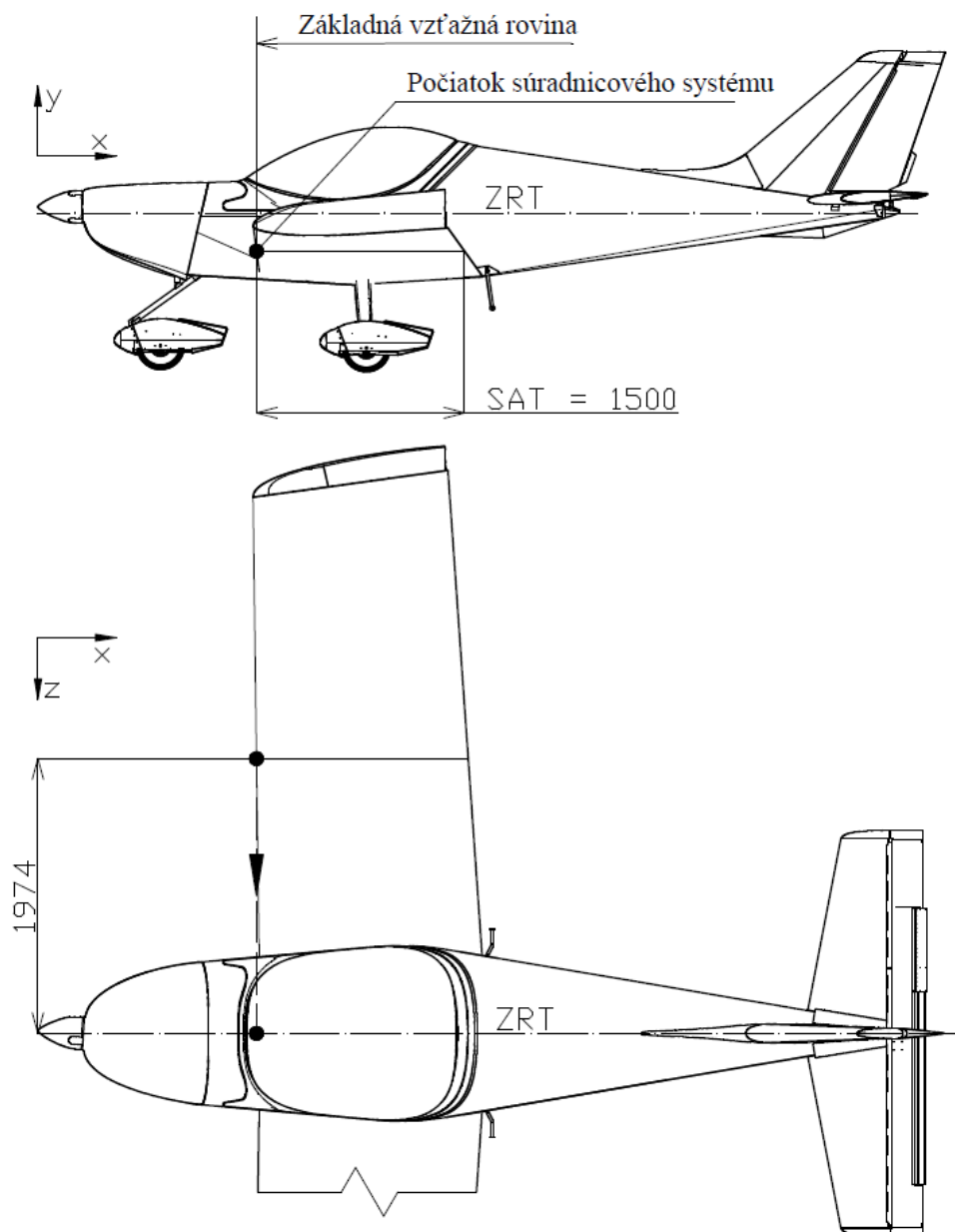
$$s_{vtt} = \frac{s_{vth} + s_{vtp}}{c_z} \cdot a_z + s_{vtp} \quad [m] \quad (3.18)$$

Pre výsledný posun ťažiska platí

$$s_{vt} = s_{tpneu} + s_{vtt} \quad [m] \quad (3.19)$$

## 4. HMOTOVÝ ROZBOR

Hmotový rozbor definuje rozloženie hmôt v letúne vzhľadom k zvolenému súradnicovému systému. Počiatok súradnicového systému je umiestnený priamo v nábežnom bode strednej aerodynamickej tetivy a je premietnutý do osi trupu tak, ako je to znázornené na Obr. 4.1. Smery osí súradnicového systému odpovedajú zobrazeniu na Obr. 4.1.



Obr. 4.1 Počiatok súradnicového systému

Tab. 4.1 obsahuje rozbor polôh i hmotností základných konštrukčných celkov letúna vzhľadom k počiatku súradnicového systému. Tabuľka zahŕňa iba časti, ktoré nemenia hmotnosť pred resp. počas letu (nezahŕňa palivo, pilotov a batožinu). Táto konfigurácia je ďalej v dokumente nazývaná konfiguráciou prázdneho letúna.

Tab. 4.1 Rozloženie hmôt v letúne[13]

č	Položka	<i>m</i> [kg]	<i>X</i> [mm]	<i>Y</i> [mm]	<i>Z</i> [mm]
1	Vrtuľa	5,0	-1305	320	0
2	Motor	69,4	-795	234	0
3	Kapotáž	3,0	-795	234	0
4	Motorové lože	3,0	-605	150	0
5	Predný podvozok (NOVÝ- odhad)	10,8	-595	-626	0
6	Požiarna prepážka	3,5	-424	154	0
7	Záchranný systém	12,3	-410	374	0
8	Batéria	5,6	-4	0	0
9	Ovládanie motoru	0,5	-250	154	0
10	Palivový systém	1,2	-250	124	0
11	Pedále	3,0	-220	0	0
12	Ostatné (lakovanie,riadenie,avionika,atd.)	32,6	-133	146	0
13	Pristrojové vybavení (PFD, MFD, GPS, aj.)	12,9	-50	274	0
14	Krídlo ľavé	42,8	660	45	1683
15	Krídlo pravé	42,8	660	45	-1683
16	Sedačka ľavá	4,0	700	130	4
17	Sedačka pravá	4,0	700	130	-4
18	Prekrytie kabíny	14,3	703	810	0
19	Stredná časť trupu	50,0	800	-76	0
20	Hlavný podvozok (NOVÝ-odhad)	30,0	800	-626	0
21	Zadný kornút	22,6	2893	274	0
22	Kýl	1,7	4079	634	0
23	Stabilizátor	5,8	4360	364	5
24	Smerové kormidlo	1,8	4508	878	0
25	Výškové kormidlo	5,3	4623	404	-5
	<b>Celková hmotnosť konfigurácie prázdneho letúnu</b>	<b>393,1</b>			
	<b>Poloha ťažiska</b>		<b>432,3</b>	<b>88</b>	<b>0,0</b>
	<b>Poloha ťažiska vzhľadom k SAT</b>		<b>0,2878</b>		

Tab. 4.2 zahŕňa časti s premenlivou hmotnosťou (palivo, piloti). Maximálnu vzletovú hmotnosť letúnu definuje predpis (maximálne 600 kg). Hmotnosť pilota vyplýva z letovej príručky (ďalej v dokumente POH)[12]:

- a) Maximálna hmotnosť pilota 115 kg
- b) Minimálna hmotnosť pilota 55 kg
- c) Štandardná hmotnosť pilota 86 kg
- d) Pilot o hmotnosti 93 kg (maximálne množstvo paliva 20 kg)

Maximálna hmotnosť batožiny je 18 kg v trupu a 10 kg v každom z krídl.

Maximálny množstvo paliva v nádrži je 41 kg paliva AVGAS.

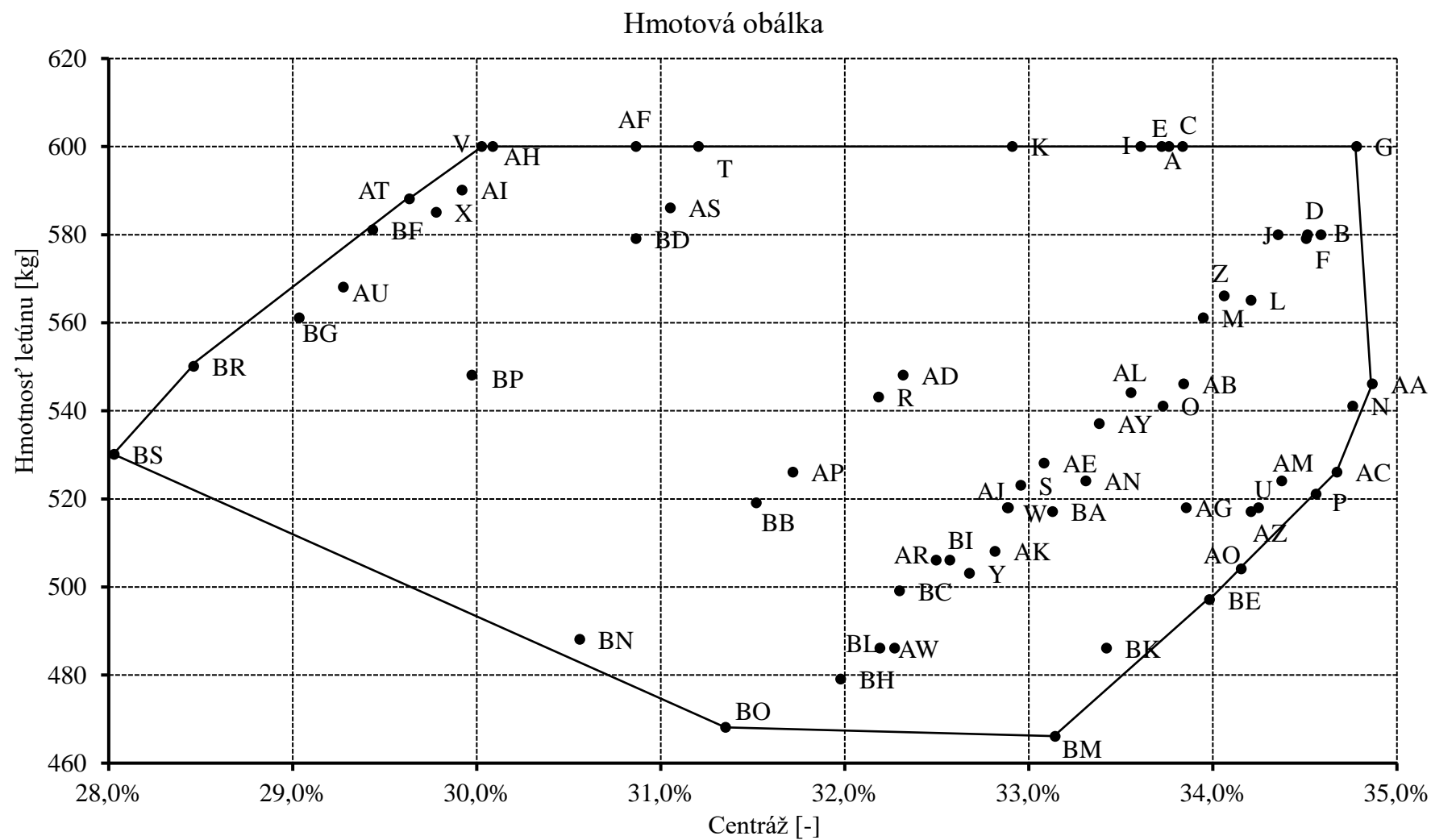
Tab. 4.2 Premennivá hmotnosť

Č	Položka	$m$ [kg]	$X$ [mm]	$Y$ [mm]	$Z$ [mm]
25	Pilot č.1	$55 \div 115$	700,	130	350
26	Pilot č.2	$55 \div 115$	700,	130	-350
27	Palivo v ľavom krídle	$0 \div 41$	180	-31	1292
28	Palivo v pravom krídle	$0 \div 41$	180	-31	-1292
29	Batožina v ľavom krídle	$0 \div 10$	600	-45	1225
30	Batožina v pravom krídle	$0 \div 10$	600	-45	-1225
31	Batožina v trupu	$0 \div 18$	1310	-130	0

#### 4.1. Hmotová obálka

Pre účely tejto práce sú v Prílohe A uvedené základné letové konfigurácie pre zvolené prípady premenlivých hmôt z Tab. 4.2.

Na základe vytvorených konfigurácií, uvedených v Prílohe A, je vytvorená hmotová obálka, vyznačené okrajové body a hranice jednotlivých možných kombinácií hmotností a centrží.



Obr. 4.2 Hmotová obálka

## 5. ANALÝZA POZEMNÉHO ZAŤAŽENIA PODĽA CS-VLA [15]

Analýza kinematického mechanizmu hlavnej a prednej podvozkovej nohy popisuje problém z hľadiska zmien dĺžok tlmičov a ich vplyvu na posun osy podvozku. Táto kapitola sa zaoberá vznikom a veľkosťou pôsobiacich síl podľa stanoveného predpisu. Použitým predpisom je CS-VLA[15].

### 5.1. Statické zaťaženie

Statické zaťaženie odpovedá násobku síl  $n = 1$ . V tom prípade platí

$$G = F_{zp} + 2 \cdot F_{zh} \quad [N] \quad (5.1)$$

Statická sila na hlavnej podvozkovej nohe sa rovná:

$$F_{zh} = \frac{1}{2} \cdot \frac{m \cdot g \cdot a_z}{c_z} \quad [N] \quad (5.2)$$

Statická sila na prednej podvozkovej nohe sa rovná:

$$F_{zp} = m \cdot g - 2 \cdot F_{zh} \quad [N] \quad (5.3)$$

### 5.2. Stanovenie klesacej rýchlosti

Podľa bodu predpisu CS-VLA 473 odsek (d) pre pristávaciu rýchlosť platí

$$v_y = 0,51 \cdot \sqrt[4]{\frac{W}{S}} \quad [ms^{-1}] \quad (5.4)$$

Potom pristávacia rýchlosť nadobúda hodnoty

$$v_y = 0,51 \cdot \sqrt[4]{\frac{600 \cdot 9,81}{12,3}} = 2,38 \text{ ms}^{-1}$$

Rýchlosť nemusí byť väčšia než  $3,05 \text{ ms}^{-1}$  a nesmie byť menšia než  $2,13 \text{ ms}^{-1}$ .

### 5.3. Násobok zotrvačných síl

Násobok zotrvačných síl vychádza z rovnosti vonkajšej energie a energie akumulovanej pomocou stlačenia pneumatiky a prepruženia tlmiča. Matematicky je táto rovnosť zapísaná nasledovne.

Pre kinetickú energiu platí

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_y^2 \quad [J] \quad (5.5)$$

Na základe bodu 3 dodatku C dokumentu [15] odvolávajúc sa na bod CS-VLA 725 (e) pôsobí na letún maximálne 0,667 vztlaku. Pre polohovú energiu letúnu potom platí

$$E_p = \frac{1}{3} \cdot m \cdot g \cdot (s + s_t) \quad [J] \quad (5.6)$$

Potom platí

$$\eta_t \cdot s_t \cdot n \cdot W + \eta_s \cdot s \cdot n \cdot W = W \cdot \frac{v_y^2}{2 \cdot g} + (W - L) \cdot (s + s_t) \quad [-] \quad (5.7)$$

Pre prevádzkový násobok zaťaženia reakciami od zeme platí

$$n_1 = \frac{\frac{v_y^2}{2 \cdot g} + \frac{(W - L) \cdot (s + s_t)}{W}}{\eta_t \cdot s_t + \eta_{pneu} \cdot s} \quad [-] \quad (5.8)$$

kde

$W$  – Tiaž, sila rovná násobku hmotnosti a gravitačného zrýchlenia

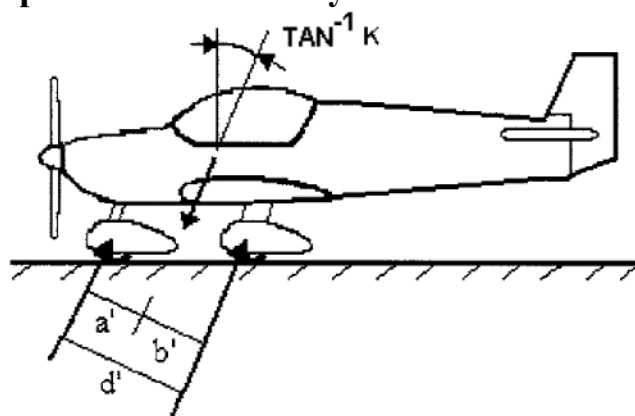
$\eta_t$  – Účinnosť tlmiča

$\eta_{pneu}$  – Účinnosť pneumatiky

Pre prevádzkový násobok zotrvačných síl platí

$$n = n_1 + \frac{2}{3} \quad [-] \quad (5.9)$$

## 5.4. Vodorovné pristátie zo sklonenými reakciami



Obr. 5.1 Vodorovné pristátie zo sklonenými reakciami (upravené) [16]

Tlmiče i pneumatiky sú stlačené dynamicky.

Pre zvislú zložku sily pri pristátí pôsobiacu v ťažisku platí:

$$F_{zt} = n \cdot W \quad [N] \quad (5.10)$$

Pre doprednú a odporovú zložku sily v ťažisku platí:

$$F_{ht} = k \cdot n \cdot W \quad [N] \quad (5.11)$$

kde

$k$  – Nadobúda hodnoty 0,25 pre hmotnosť nižšiu než 1361 kg

### 5.4.1. Predná podvozková noha

Pre zvislú zložku sily platí:

$$F_{zp} = n_1 \cdot W \cdot \frac{b'}{d'} \quad [N] \quad (5.12)$$

Pre doprednú a odporovú zložku sily platí:

$$F_{hp} = k \cdot n_0 \cdot W \cdot \frac{b'}{d'} \quad [N] \quad (5.13)$$

kde

pre  $d'$  platí

$$d' = a' + b' \quad [m] \quad (5.14)$$

pre  $a'$  platí

$$a' = (a_z - \tan(\alpha) \cdot (y_t - s_c)) \cdot \cos(\alpha) \quad [m] \quad (5.15)$$

pre  $b'$  platí

$$b' = (b_z + \tan(\alpha) \cdot (y_t - s_c)) \cdot \cos(\alpha) \quad [m] \quad (5.16)$$

#### 5.4.2. Hlavná podvozková noha

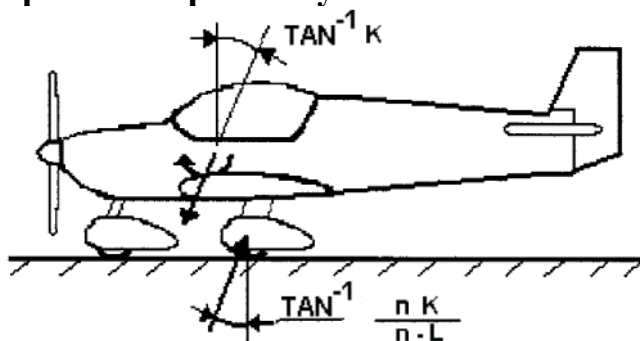
Pre zvislú zložku sily platí:

$$F_{zh} = n_1 \cdot W \cdot \frac{a'}{2 \cdot d'} \quad [N] \quad (5.17)$$

Pre doprednú a odporovú zložku sily platí:

$$F_{hh} = k \cdot n \cdot W \cdot \frac{a'}{2 \cdot d'} \quad [N] \quad (5.18)$$

### 5.5. Vodorovné pristátie s pried'ovým kolesom tesne nad zemou



Obr. 5.2 Vodorovné pristátie s pried'ovým kolesom tesne nad zemou (upravené) [16]

Tlmiče i pneumatiky sú stlačené dynamicky.

Pre zvislú zložku sily pri pristátí pôsobiacu v ťažisku platí:

$$F_{zt} = n \cdot W \quad [N] \quad (5.19)$$

Pre doprednú a odporovú zložku v ťažisku platí:

$$F_{ht} = k \cdot n \cdot W \quad [N] \quad (5.20)$$

#### 5.5.1. Predná podvozková noha

Sily pôsobiace na prednú podvozkovú nohu v prípade vodorovného pristátia s pried'ovým kolesom tesne nad zemou sú nulové.

#### 5.5.2. Hlavná podvozková noha

Pre zvislú zložku sily platí:

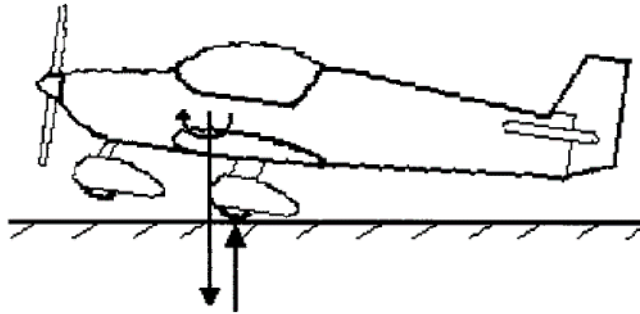
$$F_{zh} = n_1 \cdot W \quad [N] \quad (5.21)$$

Pre doprednú a odporovú zložku sily platí:

$$F_{hh} = k \cdot n \cdot W \quad [N] \quad (5.22)$$



## 5.6. Pristátie s veľkým uhlom pozdĺžneho sklonu



Obr. 5.3 Pristátie s veľkým uhlom pozdĺžneho sklonu [16]

Tlmiče i pneumatiky sú stlačené dynamicky.

Pre zvislú zložku sily pri pristátí pôsobiace v ťažisku platí:

$$F_{zt} = n \cdot W \quad [N] \quad (5.23)$$

Dopredná a odporová zložka v ťažisku je nulová.

Ďalej sa predpokladá, že letún nadobúda polohy :

- Pádová poloha
- Maximálny uhol zachovávajúci určitú svetlú výšku ktorejkoľvek časti letúnu

### 5.6.1. Predná podvozková noha

Sily pôsobiace na prednú podvozkovú nohu v prípade vodorovného pristátia s pried'ovým kolesom tesne nad zemou sú nulové.

### 5.6.2. Hlavná podvozková noha

Pre zvislú zložku sily platí:

$$F_{zh} = \frac{n_1 \cdot W}{2} \quad [N] \quad (5.24)$$

Dopredná a odporová zložka sily je nulová.

## 5.7. Pristátie na jedno koleso

Pri tomto druhu pristátia sa silové zaťaženie hlavnej podvozkovej nohy rovná silovému zaťaženiu podvozkovej nohy pri vodorovnom pristátí s pried'ovým kolesom tesne nad zemou.

## 5.8. Podmienky brzdenia pri pojazde

V ťažisku letúnu pôsobí

Zvislá zložka sily

$$F_{zt} = 1,33 \cdot W \quad [N] \quad (5.25)$$

### 5.8.1. Predná podvozková noha

Zvislá zložka sily

$$F_{zh} = \frac{1,33 \cdot W \cdot (0,8 \cdot (y_t + -s_c) + b_z)}{c + 0,8 \cdot (y_t - s_c)} \quad [N] \quad (5.26)$$

Dopredná a odporová zložka sily je nulová.

### 5.8.2. Hlavná podvozková noha

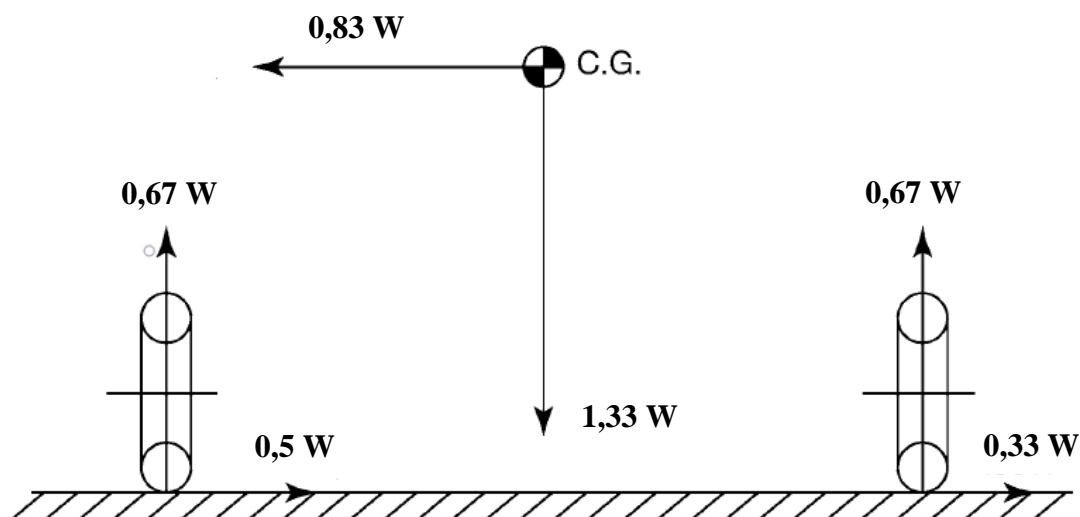
Pre zvislú zložku sily platí

$$F_{zh} = \frac{1,33 \cdot W - F_{zp}}{2} \quad [N] \quad (5.27)$$

Pre doprednú a odporovú zložku sily platí

$$F_{hh} = 0,8 \cdot F_{zh} \quad [N] \quad (5.28)$$

## 5.9. Bočné zaťaženie



Obr. 5.4 Bočné zaťaženie (upravené) [16]

Podľa CS-VLA 485 sa podvozok dotýka zeme len hlavným podvozkom pričom tlmič i pneumatika sú stlačené staticky, potom platí:

$$F_{zh} = 1,33 \cdot \frac{W}{2} \quad [N] \quad (5.29)$$

Pričom na jedno koleso pôsobí bočná sila:

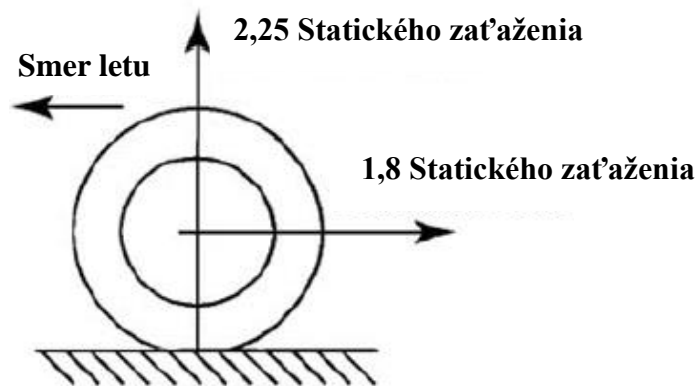
$$F_{bh} = 0,5 \cdot W \quad [N] \quad (5.30)$$

A na koleso druhé sila:

$$F_{bh} = 0,33 \cdot W \quad [N] \quad (5.31)$$

## 5.10. Dodatočné podmienky pre prednú podvozkovú nohu

### 5.10.1. Zaťaženie smerom dozadu



Obr. 5.5 Zaťaženie smerom dozadu (upravené) [16]

Tlmič a pneumatika sú stlačené staticky ( $n = 1$ ).

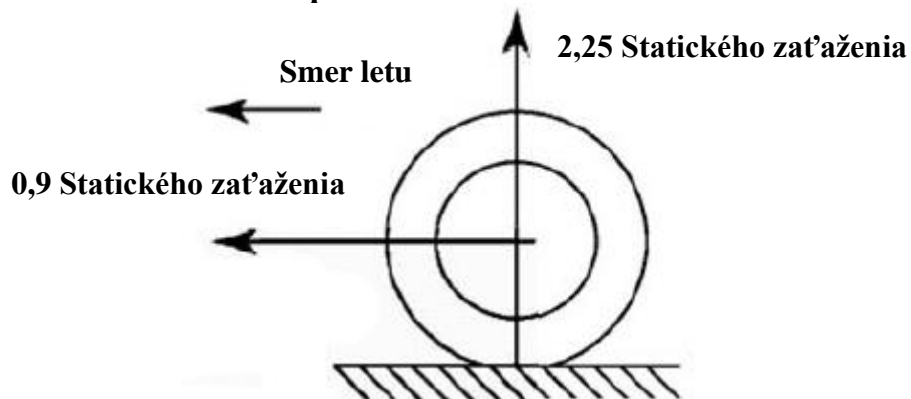
Zvislá zložka sily:

$$F_{zp} = 2,25 \cdot F_{sp} \quad [N] \quad (5.32)$$

Odporová zložka sily

$$F_{hp} = 1,8 \cdot F_{sp} \quad [N] \quad (5.33)$$

### 5.10.2. Zaťaženie smerom dopredu



Obr. 5.6 Zaťaženie smerom dopredu (upravené) [16]

Tlmič a pneumatika sú stlačené staticky ( $n = 1$ ).

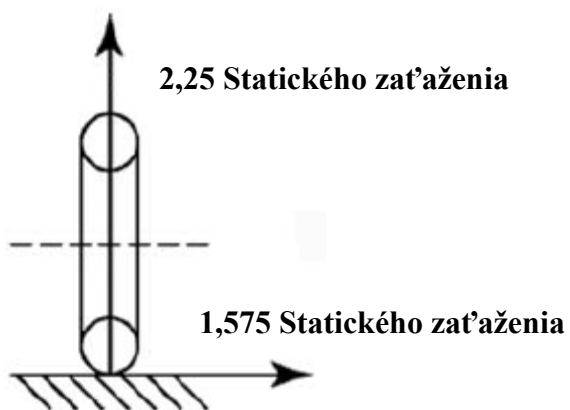
Zvislá zložka sily:

$$F_{zp} = 2,25 \cdot F_{sp} \quad [N] \quad (5.34)$$

Odporová zložka sily:

$$F_{hp} = 0,9 \cdot F_{sp} \quad [N] \quad (5.35)$$

### 5.10.3. Bočné zaťaženie



Obr. 5.7 Bočné zaťaženie (upravené) [16]

Tlmič a pneumatika sú stlačené staticky ( $n = 1$ ).

Zvislá zložka sily:

$$F_{zp} = 2,25 \cdot F_{sp} \quad [N] \quad (5.36)$$

Odporová zložka sily:

$$F_{bp} = 1,575 \cdot F_{sp} \quad [N] \quad (5.37)$$

## 6. NÁVRH TLMIČOV PRISTÁVACIEHO ZARIADENIA

Pre výpočet tlmiča hlavnej a prednej podvozkovej nohy sú zavedené tieto predpoklady a zjednodušenia:

- Stlačenie tlmiča, ktorý je zložený z niekoľkých PU elementov, odpovedá násobnému stlačeniu jedného PU elementu
- Na stlačení tlmiča sa podieľa len zvislá sila vonkajšieho zaťaženia

### 6.1. Stlačenie PU elementu

Pre potreby diplomovej práce bola zadávateľom práce na skúšobni Leteckého ústavu VUT v Brne vykonaná:

- séria statických skúšok samostatných PU elementov o rôznej tvrdosti a geometrii
- séria dynamických skúšok celej prednej podvozkovej nohy letúnu PS-28 Cruiser s tlmičom zloženým z PU elementu o rôznej tvrdosti.

#### 6.1.1. Statické a dynamické správanie PU elementu [17]

Pre konkrétny prípad zvolenej konštrukcie tlmiča a danej geometrie PU elementu boli vykonané statické a dynamické skúšky a odvodené nasledujúce závislosti.

Statické skúšky boli vykonané zaťažovacou rýchlosťou  $1 \text{ mm/s}$  až do limitnej sily  $20 \text{ kN}$ . Charakter zaťažovania odpovedá krivke na Obr. 6.1.

Dynamické zaťaženie jedného PU elementu je odvodené z chovania celého tlmiča pri uplatnení predpokladov. Z merania stlačenia tlmiča pre sériu pádových skúšok a následnej analýzy dát vyplýva:

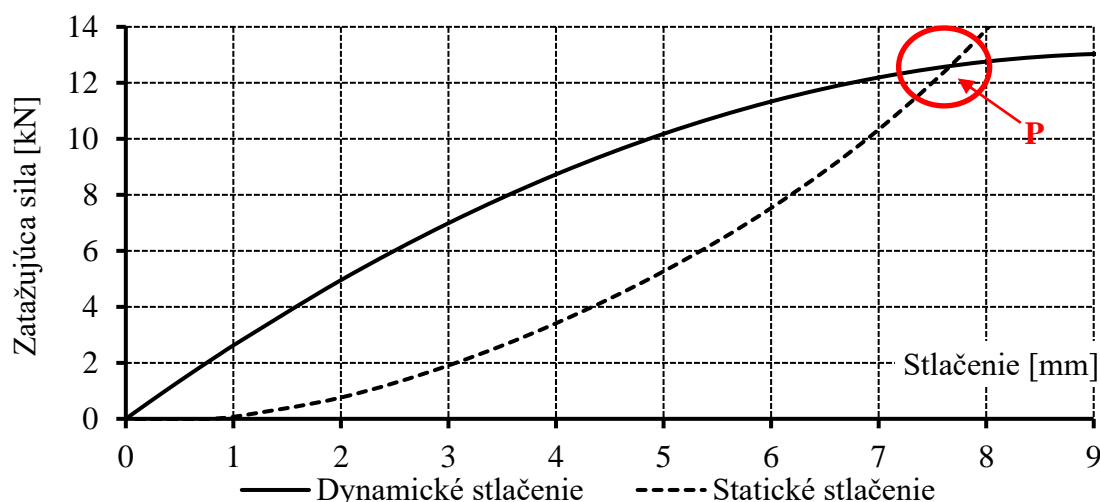
- zaťažujúcu silu možno vyjadriť ako kvadratickú závislosť stlačenia elementu.

$$F_{PU} = -146,94 \cdot s_{PU}^2 + 2770,3 \cdot s_{PU} \quad [N] \quad (6.1)$$

kde

$s_{PU}$  — Stlačenie PU elementu v milimetroch

Je definovaný bod [P] ako priesečník priebehu dynamického a statického stlačenia pre dané zaťaženie. Bod P pre zvolenú konštrukciu tlmiča a daný PU element odpovedá stlačenie hodnote 51% výšky PU elementu.



Obr. 6.1 Stlačenie PU-elementu

Pre konkrétny prípad zvolenej konštrukcie tlmiča a danej geometrie PU elementu je možno definovať zaťaženie nezávisle na tvrdosti a geometrii ako:

$$F_{PU} = (-146,94 \cdot s_{PU}^2 + 2770,3 \cdot s_{PU}) \cdot k_1 \quad [N] \quad (6.2)$$

kde

$k_1$  – Koeficient prepočtu medzi analyzovaným priebehom zaťaženia a požadovaným priebehom zaťaženia

Koeficient  $k_1$  je volený tak, aby sa dynamické zaťaženie rovnalo zaťaženiu statickému ekvivalentnému 51 % výšky PU-elementu.

Dynamický priebeh zaťažovania je potom určený za základe statického chovania vybraného PU elementu (daného skúškou) pomocou rovnice (6.2).

### 6.1.2. PU element tlmiča prednej podvozovej nohy

Tab. 6.1 Zvolený PU element tlmiča prednej podvozovej nohy

<b>Materiál</b>	Polyuretán
<b>Tvrdosť</b>	80 Sha
<b>Vonkajší priemer</b>	38 mm
<b>Vnútorný priemer</b>	16 mm
<b>Výška</b>	15 mm

Obr. 6.2 zobrazuje priebeh zaťažujúcej sily na statickom a dynamickom stlačení.

Pre silu v segmente platí

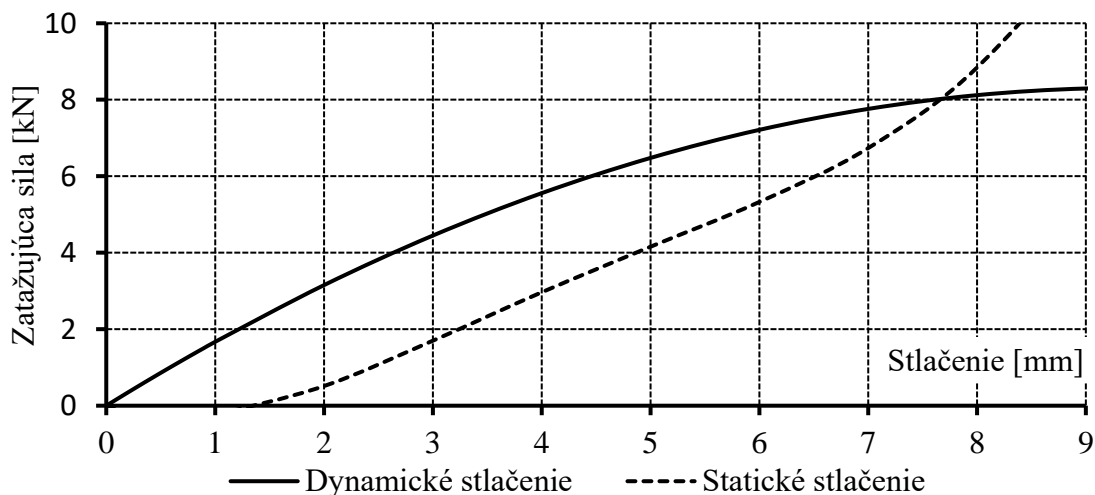
$$F = 8,51 \cdot s^4 - 144,44 \cdot s^3 + 870,68 \cdot s^2 + 975,29 \cdot s \quad [N] \quad (6.3)$$

Kde:

$s$  – Stlačenie PU elementu

Koeficient prepočtu nadobúda hodnotu

$$k_1 = 0,637 \quad [-] \quad (6.4)$$



Obr. 6.2 Správanie zvoleného PU element prednej podvozovej nohy

### 6.1.3. PU element tlmiča hlavnej podvozkovej nohy

Tab. 6.2 Zvolený PU element tlmiča prednej podvozkovej nohy

<b>Materiál</b>	Polyuretán
<b>Tvrdosť</b>	90 <i>Sha</i>
<b>Vonkajší priemer</b>	38 mm
<b>Vnútorný priemer</b>	16 mm
<b>Výška</b>	15 mm

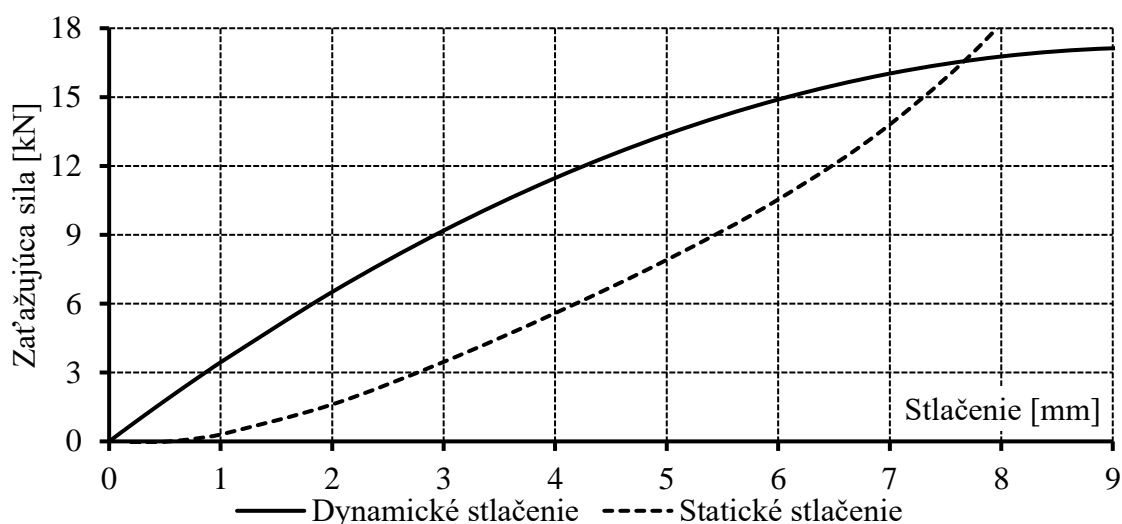
Obr. 6.3 zobrazuje priebeh zaťažujúcej sily na statickom a dynamickom stlačení.

Pre silu v segmente platí

$$F = 8,19 \cdot s^4 - 127,4 \cdot s^3 - 831,52 \cdot s^2 - 414,49 \cdot s \quad [N] \quad (6.5)$$

Koeficient prepočtu nadobúda hodnotu

$$k_1 = 1,314 \quad [-] \quad (6.6)$$



Obr. 6.3 Správanie zvoleného PU elementu hlavnej podvozkovej nohy

## 6.2. Stlačenie pneumatiky [14]

### Predná podvozková noha

Disk WHLNW51CC.75R od výrobcu Matco mfg

Typ disku 5 in

Pneumatika Goodyear FLIGHT SPECIAL II

Typ pneumatiky 5,00 – 5 in

Odporúčaný tlak v pneumatike 1,2 + 0,1 bar (17,4 + 1,5 psi)

### Hlavná podvozková noha

Disk MHE51CZ od výrobcu Matco mfg

Typ disku 5 in

Pneumatika Goodyear FLIGHT SPECIAL II

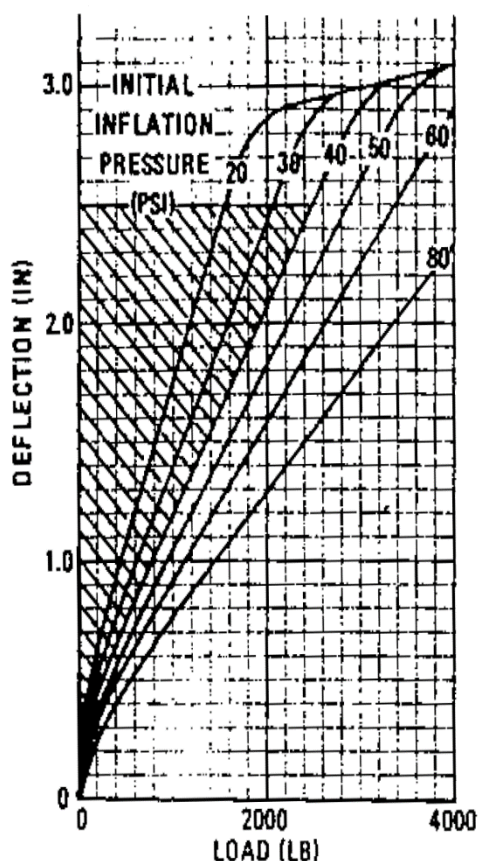
Typ pneumatiky 5,00 – 5 in

Odporúčaný tlak v pneumatike 1,8 + 0,1 bar (26,1 + 2,9 psi)

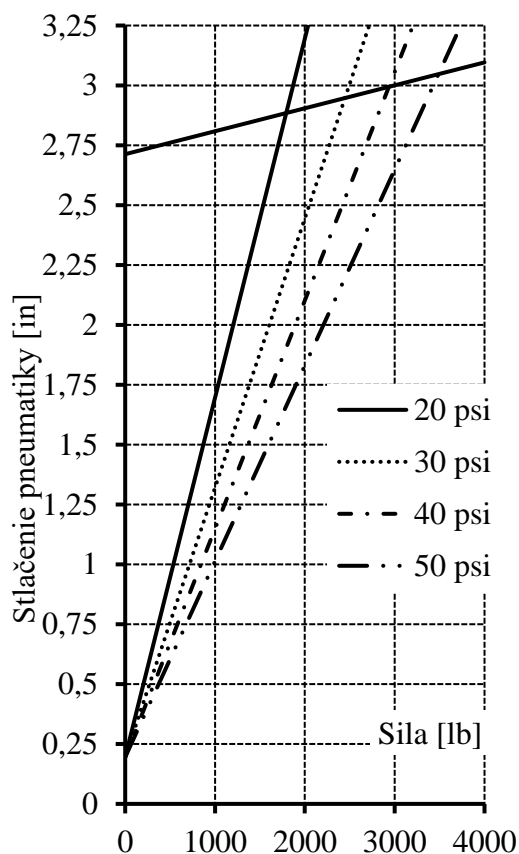
Podľa dokumentu [18] možno stlačenie pneumatiky simulovať podľa Obr. 6.4. Priebeh je prispôsobený odporúčanému tlaku v pneumatikách a pre účely výpočtu je aproximovaný dvomi lineárnymi priebehmi (Obr.6.5). Nelinearita stlačenia pneumatiky pri nízkych veľkostiach síl je zanedbaná.

Stlačenie je analyticky vyhodnotené a smernice priamok zvolených odporúčaných tlakov v pneumatikách ležia na krivke.

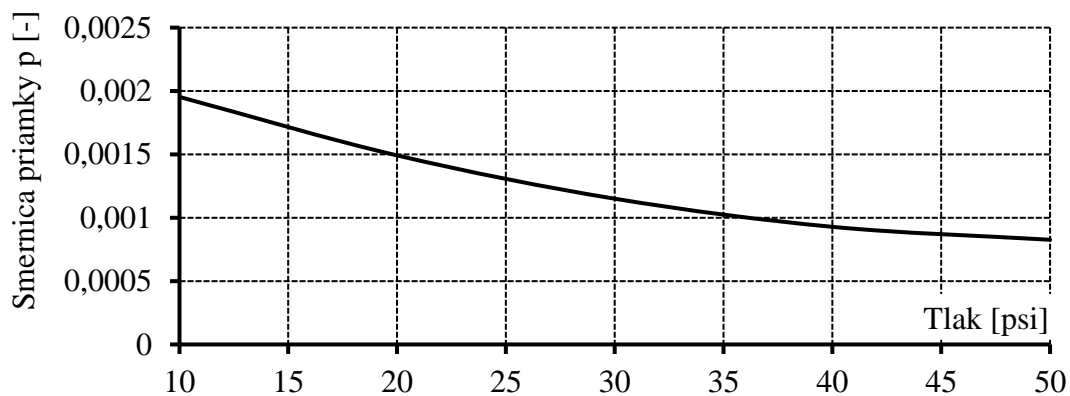
$$l = 5,99 \cdot 10^{-7} \cdot p^2 - 6,42 \cdot 10^{-5} \cdot p + 2,53 \cdot 10^{-3} \quad [-] \quad (6.7)$$



Obr. 6.4 Stlačenie pneumatiky v závislosti na zaťažujúcej sile



Obr. 6.5 Náhrada priebehu stlačenia pneumatiky v závislosti na zaťažujúcej sile



Obr. 6.6 Smernica priamky p



Pre prípad prednej podvozkovej nohy je tlak v pneumatike 17,4 *psi* a stlačenie pneumatiky sa riadi nasledujúcimi rovnicami

$$0 \text{ N} \leq F \leq 7444,34 \text{ N}$$

$$s_{ppneu} = \left( 1,60 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{F}{4,482} + 0,195 \right) \cdot 25,4 \quad [\text{mm}] \quad (6.8)$$

$$7444,34 < F$$

$$s_{ppneu} = \left( 9,58 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{F}{4,482} + 2,713 \right) \cdot 25,4 \quad [\text{mm}] \quad (6.9)$$

Pre prípad hlavnej podvozkovej nohy je tlak v pneumatike 26,1 *psi* a stlačenie pneumatiky sa riadi nasledujúcimi rovnicami

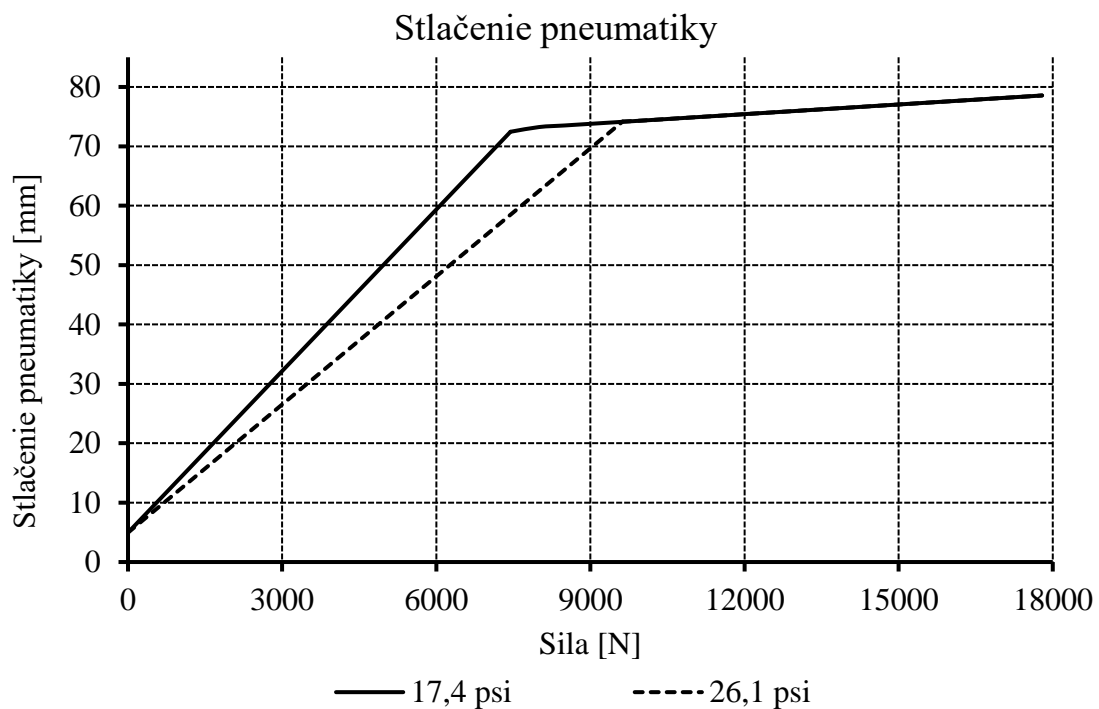
$$0 \text{ N} \leq F \leq 9626,89 \text{ N}$$

$$s_{ppneu} = \left( 1,27 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{F}{4,482} + 0,195 \right) \cdot 25,4 \quad [\text{mm}] \quad (6.10)$$

$$9626,89 < F$$

$$s_{ppneu} = \left( 9,58 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{F}{4,482} + 2,713 \right) \cdot 25,4 \quad [\text{mm}] \quad (6.11)$$

Na obrázku nižšie je zobrazený priebeh stlačenia pneumatiky v závislosti na pôsobiacej sile pri tlaku v pneumatikách 17,4 *psi* a 26,1 *psi*.



Obr. 6.7 Stlačenie pneumatiky pri rozdielnych tlakoch

### 6.3. Sily do tlmiča prednej podvozkovej nohy

Sily, ktoré sa skutočne podieľajú na stlačení tlmiča prednej podvozkovej nohy sú:

- sila vertikálna
- sila horizontálna

Sila nepodieľajúca sa na stlačení tlmiča prednej podvozkovej nohy je :

- sila bočná

Veľkosť sily je rovná

$$F_{tp} = F_{zp} \cdot \cos \alpha + F_{hp} \cdot \sin \alpha \quad [N] \quad (6.12)$$

### 6.4. Sily do tlmiča hlavnej podvozkovej nohy

Na stlačení sa podieľajú rovnaké sily ako tomu je pri tlmiči prednej podvozkovej nohy.

Pre sily, ktoré pôsobia priamo v závese tlmiča platí

$$F_{rm} = \frac{F_{hh} \cdot r_v \cdot \sin(\alpha_0 - x) + F_{zh} \cdot r_v \cdot \cos(\alpha_0 - x)}{r_m} \quad [N] \quad (6.13)$$

Pre určenie sily je nutné definovať nový uhol, pre ktorý platí

$$\psi = \sin^{-1} \frac{h \cdot \sin \left( \frac{\pi}{2} + \alpha_0 - \beta - x - \gamma \right)}{s} - \gamma \quad [^\circ] \quad (6.14)$$

Následne pre silu do tlmiča platí

$$F_{th} = F_{rm} \cdot \sin \psi \quad [N] \quad (6.15)$$

Pre normálovú silu platí

$$F_{nh} = F_{rm} \cdot \cos \psi \quad [N] \quad (6.16)$$

### 6.5. Proces riešenia geometrie pristávacieho zariadenia

Pre riešenie iteračnej úlohy bol použitý program MS EXCEL.

**Proces riešenie problému:**

#### a) Určenie kritickej hmotnostnej konfigurácii

V programu MS EXCEL bola určená kritická hmotnostná konfigurácia pre prednú podvozkovú nohu a to na základe dokumentu [15] bod CS-VLA 725:

- zvislé zaťaženie 1 g
- dopredné (založené na koeficiente k) zaťaženie 0,25 g.

Veľkosti reakčných síl pre jednotlivé hmotnostné konfigurácie sú uvedené v Prílohe B.

Kritická hmotnostná konfigurácia vstupujúca do návrhu tlmiča prednej podvozkovej nohy je :

Tab. 6.3 Najkritickejšia hmotnostná konfigurácia PPN

Konfigurácia		Centráž
V	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 82 kg + batožina 14,9 kg (krídlo)	30,03%

Pri uvedenej hmotnostnej konfigurácii dochádza u prednej podvozkovej nohy **k najväčšiemu stlačeniu**.

Z hľadiska zaťaženia hlavnej podvozkovej nohy je kritická konfigurácia nezávislá na polohe ťažiska. Jedná sa len o pôsobenie hmotnosti a násobku v prípade pristátia s priedňovým kolesom tesne nad zemou. V tomto prípade je konfiguráciou kritickou, akákoľvek konfigurácia s maximálnou vzletovou hmotnosťou.

$$m_{TOW} = 600 \text{ kg}$$

#### b) Analýza prípadu vodorovného pristátia s priedňovým kolesom tesne nad zemou

Systém hlavnej podvozkovej nohy zastaví svoj pohyb v prípade, že moment na ňu pôsobiaci je rovný nule. Táto poloha je ďalej nazvaná polohou rovnovážnou a nastáva v prípade:

$$M = F_{nh} \cdot t \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon\right) + (F_{th} - F_s) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon\right) = 0 \quad [Nm] \quad (6.17)$$

kde

$$\varepsilon = \psi - \gamma \quad [rad] \quad (6.18)$$

$F_s$  — sila od PU elementov tlmiča spôsobená zmenou polohy hlavnej podvozkovej nohy

Veľkosť sily  $F_s$  je závislá na počte PU elementov, ich vlastnostiach (geometria a tvrdosť) a veľkosti stlačenia. Pre veľkosť sily  $F_s$  platí

$$F_s = (-146,94 \cdot s_{PU}^2 + 2770,3 \cdot s_{PU}) \cdot k_1 \cdot n \quad [N] \quad (6.19)$$

$n$  — Počet PU elementov

Pomocou programu MS EXCEL je nájdené riešenie rovnice (6.17) (jediná neznáma parameter  $x$ ) s presnosťou na  $\pm 0,0001^\circ$ .

Pre účinnosť PU elementov vstupujúcu do vzťahu (5.8) platí:

$$\eta_t = \frac{\int_0^x ((-146,94 \cdot s_{PU}^2(x) + 2770,3 \cdot s_{PU}(x)) \cdot k_1 \cdot n) dx}{F_s \cdot n \cdot s_{PU}} \quad [-] \quad (6.20)$$

Pričom platí, že maximálne stlačenie PU elementu je ekvivalentné 62,8 % výšky PU elementu a to z dôvodu maximálnej účinnosti tlmiča.

Pre účinnosť pneumatiky platí

$$\eta_{pneu} = 0,47 \quad [-] \quad (6.21)$$

Parametre hlavnej podvozkovej nohy sú závislé na parametroch prednej podvozkovej nohy. Je nutné vykonať analýzu prípadu vodorovného pristátia so sklonenými reakciami.

### c) Analýza prípadu vodorovného pristátia so sklonenými reakciami

Podľa zavedených predpokladov platí

$$s_{vh} \leq s_{vp} \leq \frac{s_{vh}}{1,5} \quad [N] \quad (6.22)$$

Analyzovaná kritická konfigurácia je uvedená v bode a). Výpočet účinnosti tlmiča a pneumatiky prednej podvozkovej nohy je totožný s bodom b) je však nutné doplniť nový výpočtový parameter:

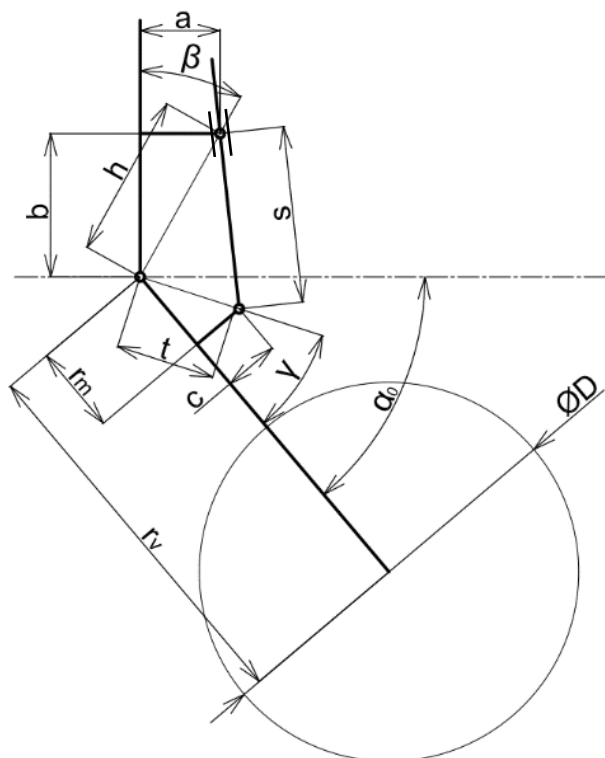
$$\eta_{s_{vtt}} = \frac{\eta_{ht} \cdot s_{vth} + \eta_{pt} \cdot s_{vtp}}{c_z} \cdot a_z + \eta_{pt} \cdot s_{vtp} \quad [m] \quad (6.23)$$

## 6.6. Výsledky analýzy

Výsledná geometria HPN a PPN, ktorá pozostáva z rozmerov a počtu PU elementov, polohy tlmiča vzhľadom na nadväzujúcu konštrukciu HPN resp. PPN a rozmerov jednotlivých podvozkových nôh, je založená na princípe maximálnej účinnosti uvedenej v bode b) predchádzajúcej podkapitoly. To znamená nasledovné:

- Oba tlmiče (tlmič HPN a PPN) absorbujú potrebnú energiu v akomkoľvek prípade pod stlačením ekvivalentným 62,8% výšky tlmiča.
- V kritických prípadoch tlmiče absorbujú potrebnú energiu blízko hodnote stlačenia ekvivalentného 62,8 % výšky tlmiča.

### 6.6.1. Vodorovné pristátie s pried'ovým kolesom tesne nad zemou (geometria HPN)

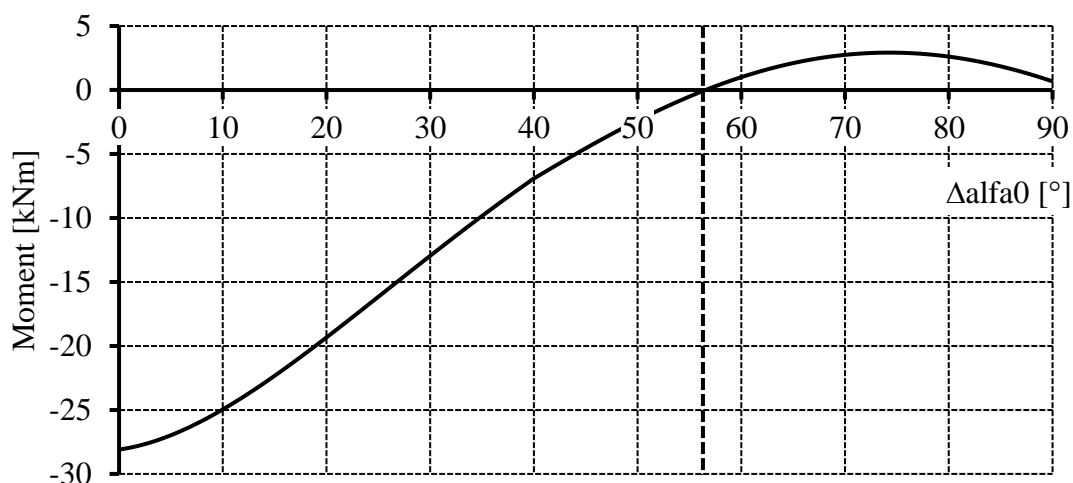


Tab. 6.4 Geometria HPN

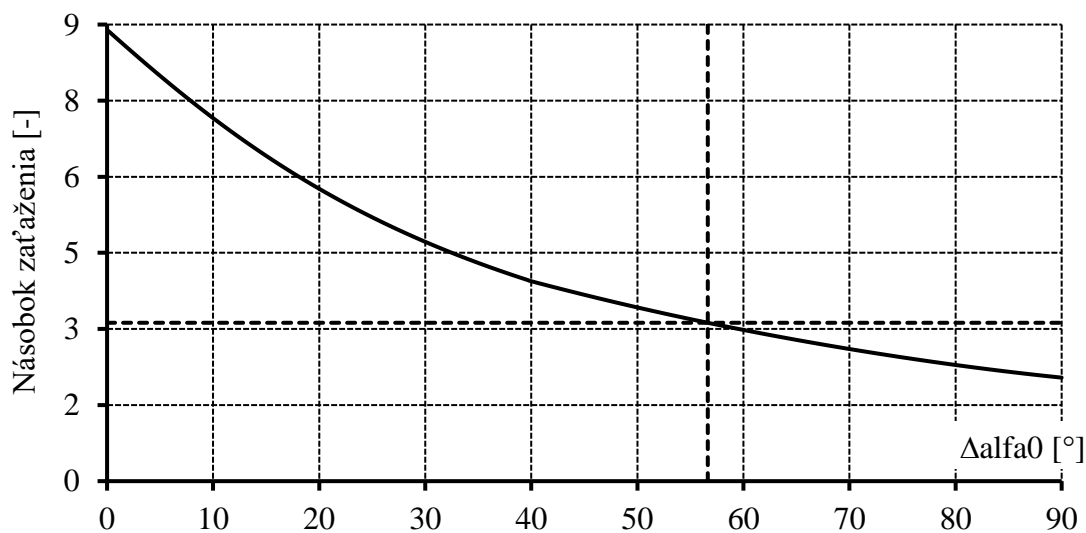
$\alpha_0$	60°
$r_m$	0,1 m
$r_v$	0,25 m
$a$	0,071 m
$b$	0,180 m
$c$	0,04 m
<b>Počet PU-elementov <math>n</math></b>	12

Obr. 6.8 Kinematický model hlavnej podvozkovej nohy

Z analýzy kritického prípadu HPN vyplýva



Obr. 6.9 Uhol otočenia HPN –  $\Delta\alpha_0$



Obr. 6.10 Prevádzkový násobok zotrvačných síl v ťažisku

HPN zastaví svoj pohyb na hodnote uhlu nastavenia

$$\alpha = \alpha_0 - 56,637 = 60 - 56,637 = 3,363^\circ$$

Účinnosť tlmiča

$$\eta_t = 0,627$$

Sily pôsobiace na hlavnú podvozkovú nohu

$$F_{zh} = 7225,01 \text{ N}$$

$$F_{hh} = 2296,75 \text{ N}$$

Prevádzkový násobok zotrvačných síl v ťažisku odpovedá hodnote

$$n = 3,122$$

Posun ťažiska

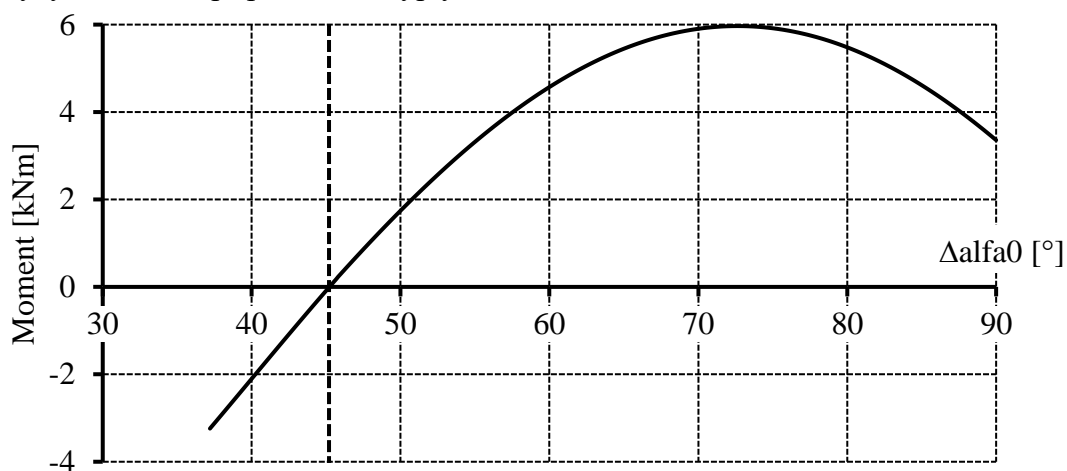
$$s_{vh} = 0,259 \text{ m}$$

### 6.6.2. Vodorovné pristátie so sklonenými reakciami (geometria PPN)

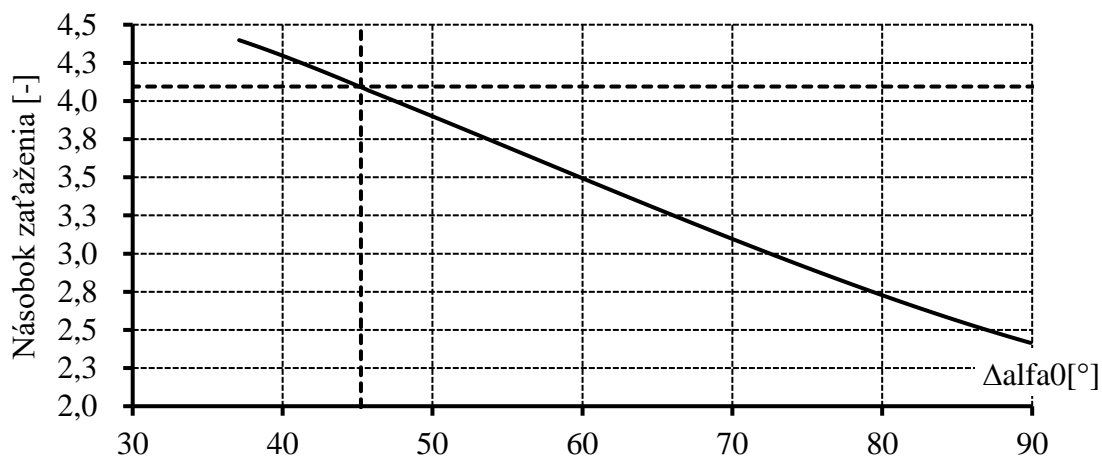
Tab. 6.5 Geometria PPN

Počet PU- elementov $n$	14
-------------------------	----

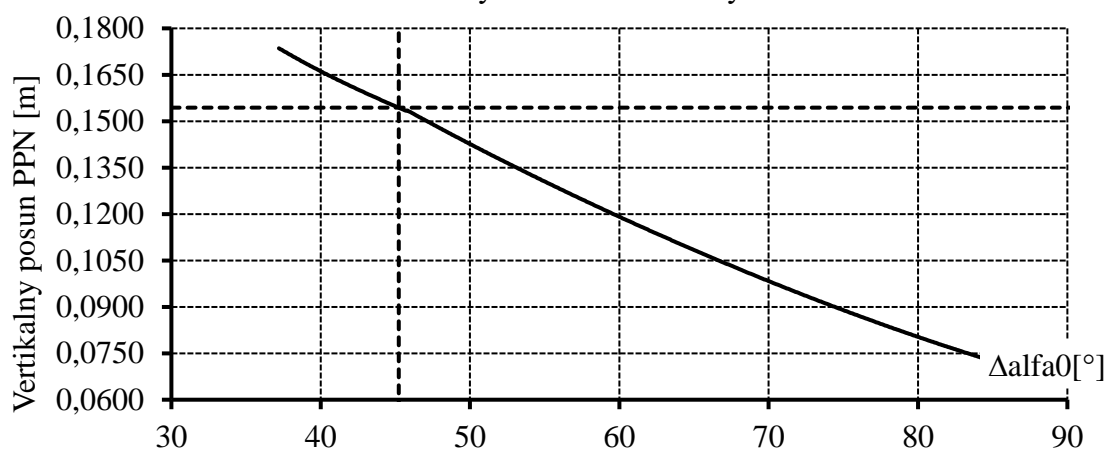
Z analýzy kritického prípadu PPN vyplýva



Obr. 6.11 Uhol otočenia HPN



Obr. 6.12 Prevádzkový násobok zotrvačných síl v ťažisku



Obr. 6.13 Vertikálny posun PPN

HPN zastaví svoj pohyb na hodnote uhlu nastavenia

$$\alpha = \alpha_0 - 45,226 = 60 - 45,226 = 14,774^\circ$$

Účinnosť tlmiča HPN

$$\eta_{th} = 0,585$$

Sily pôsobiace na hlavnú podvozkovú nohu

$$F_{zh} = 6292,6 \text{ N}$$

$$F_{hh} = 1879,1 \text{ N}$$

Účinnosť tlmiča PPN

$$\eta_{th} = 0,583$$

Sily pôsobiace na prednú podvozkovú nohu

$$F_{zp} = 7592,5 \text{ N}$$

$$F_{hp} = 2267,3 \text{ N}$$

Stlačenie predného podvozku

$$s_{vp} = 0,154 \text{ m}$$

Prevádzkový násobok zotrvačných síl v ťažisku odpovedá hodnote

$$n = 4,21$$

Navrhovaná geometria vstupuje do výpočtu zaťaženia.

## 7. VÝPOČET POZEMNÉHO ZAŤAŽENIA PODĽA CS-VLA

### 7.1. Statické zaťaženie

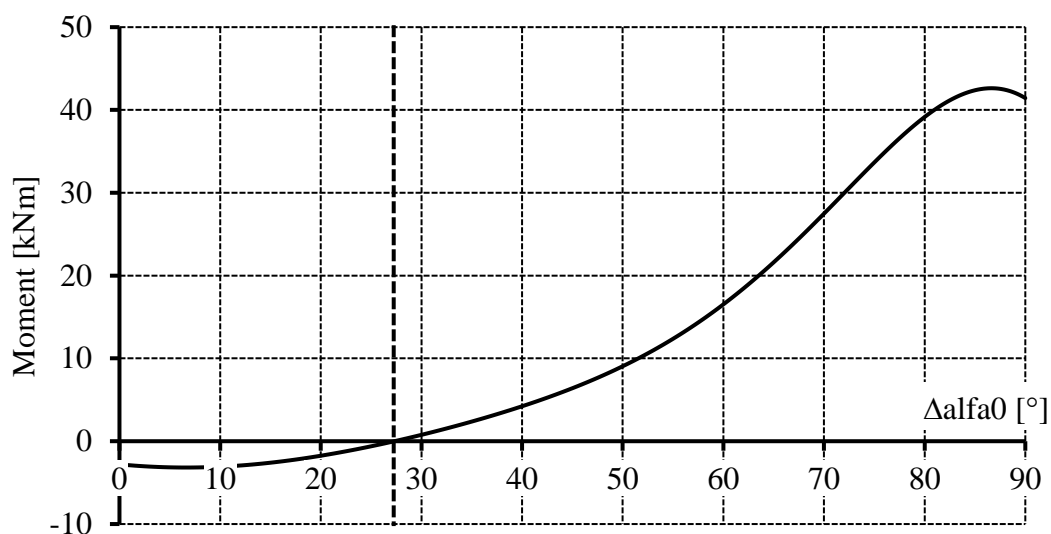
Veľkosť statického zaťaženia je uvedená v Prílohe B.

#### 7.1.1. Hlavná podvozková noha

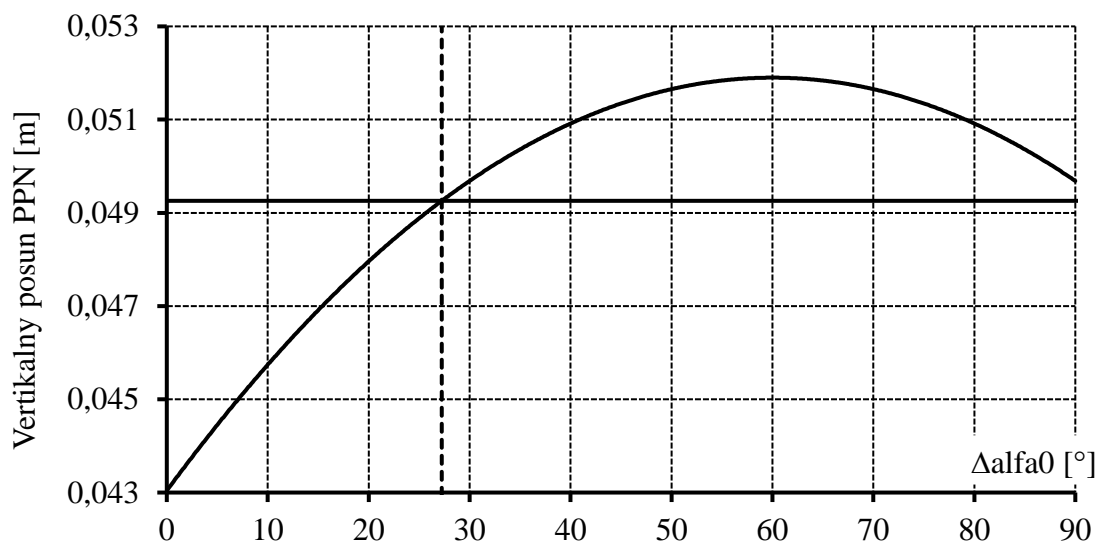
Kritický prípad:

- Najvyššia statická sila ( Príloha B) HPN:

Konfigurácia		Centráž
G	2 piloti (86kg + 86kg) + palivo 20 kg + batožina 14,9 kg (trup)	34,78 %



Obr. 7.1 Maximálna statická sila na HPN -Moment



Obr. 7.2 Maximálna statická sila na HPN -Vertikálny posun PPN

HPN zastaví svoj pohyb na hodnote uhlu nastavenia

$$\alpha = \alpha_0 - 27,239 = 60 - 27,239 = 32,761^\circ$$



Pričom PPN zastaví svoj pohyb v

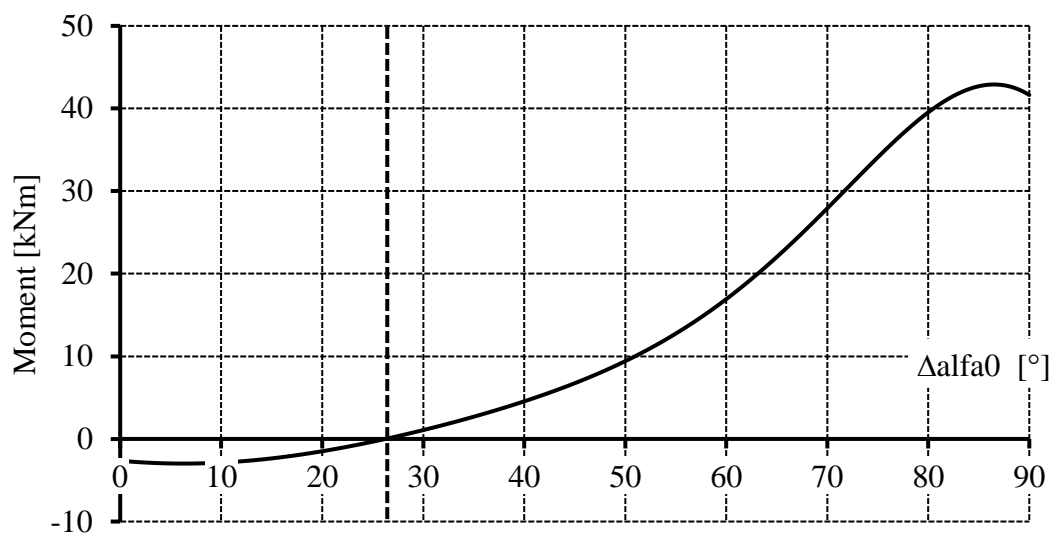
$$s_{vp} = 0,049 \text{ m}$$

### 7.1.2. Predná podvozková noha

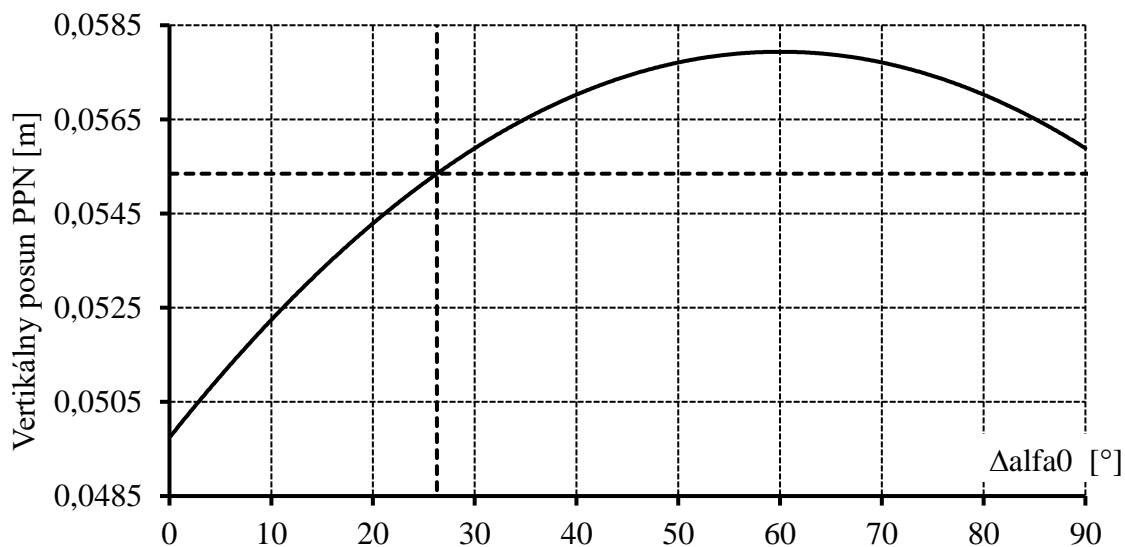
- Najvyššia statická sila ( Príloha B) PPN:

Tab. 7.1 Kritická konfigurácia

Konfigurácia		Centráž
V	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 82 kg + batožina 14,9 kg (krídlo)	30,03%



Obr. 7.3 Maximálna statická sila na PPN -Moment



Obr. 7.4 Maximálna statická sila na PPN -Vertikálny posun PPN

HPN zastaví svoj pohyb na hodnote uhlu nastavenia

$$\alpha = \alpha_0 - 26,281 = 60 - 26,281 = 33,719^\circ$$

Pričom PPN zastaví svoj pohyb v

$$s_{vp} = 0,055 \text{ m}$$

## 7.2. Vodorovné pristátie so sklonenými reakciami

Výpočet pozemného zaťaženia kritického prípadu vyplývajúceho z dokumentu [15] bod CS-VLA 725 bez zahrnutia stlačenia pristávacieho zariadenia je definovaný v kapitole 6.

Pre kompletnosť výpočtu pozemného zaťaženia je vykonaná analýza najkritickejších prípadov na základe dokumentu [15] CS-VLA 725 so zahrnutím stlačenia pristávacieho zariadenia. Výsledky analýzy najkritickejších konfigurácií sú uvedené v Prílohe C.

I po aplikácii stlačenia pristávacieho zariadenia zostava kritická konfigurácia nezmenená.

## 7.3. Vodorovné pristátie s pried'ovým kolesom tesne nad zemou

Výpočet pozemného zaťaženia je vykonaný v kapitole 6.

## 7.4. Pristátie s veľkým uhlom pozdĺžneho sklonu

Prevádzkový násobok zotrvačných síl v ťažisku odpovedá hodnote z prípadu vodorovného pristátia s pried'ovým kolesom tesne nad zemou.

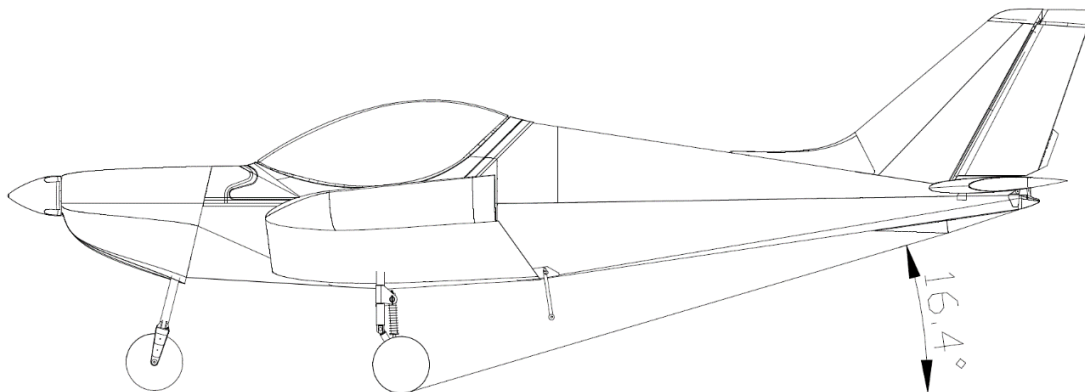
$$n = 3,122$$

Potom

$$n - L = 3,122 - 0,667 = 2,455$$

Sila pôsobiaca na hlavnú podvozkovú nohu

$$F = 7225,01 \text{ N}$$



Obr. 7.5 Maximálny možný uhol

$$\beta = 16,4^\circ \quad [N] \quad (7.1)$$

Následne platí

$$F_{zh} = F \cdot \cos \beta \quad [N] \quad (7.2)$$

$$F_{zh} = 7225,01 \cdot \cos 16,4 = 6931,1 \text{ N}$$

$$F_{hh} = F \cdot \sin \beta \quad [N] \quad (7.3)$$

$$F_{hh} = 7225,01 \cdot \sin 16,4 = 2039,9 \text{ N}$$

HPN zastaví svoj pohyb na o hodnote uhlu nastavenia

$$\alpha = \alpha_0 - 55,683 = 60 - 55,683 = 4,317^\circ$$

## 7.5. Pristátie na jedno koleso

Výpočet pozemného zaťaženia je totožný s vodorovným pristátím s priedovým kolesom tesne nad zemou a je vykonaný v kapitole 6.

## 7.6. Podmienky brzdzenia pri pojazde

### 7.6.1. Predná podvozková noha

- Najvyššia statická sila ( Príloha B) HPN

$$F_{zp} = 3325,4 \text{ N}$$

- Najvyššia statická sila ( Príloha B) PPN:

$$F_{zp} = 3552,2 \text{ N}$$

### 7.6.2. Hlavná podvozková noha

Zvislá zložka sily na hlavnej podvozkovej nohe:

- Najvyššia statická sila ( Príloha B) HPN

$$F_{zh} = 2251,5 \text{ N}$$

- Najvyššia statická sila ( Príloha B) PPN:

$$F_{zh} = 2138,1 \text{ N}$$

Dopredná a odporová zložka sily:

- Najvyššia statická sila ( Príloha B) HPN

$$F_{hh} = 1801,2 \text{ N}$$

- Najvyššia statická sila ( Príloha B) PPN:

$$F_{hh} = 1710,5 \text{ N}$$

## 7.7. Bočné zaťaženie

Zvislá zložka sily na hlavnej podvozkovej nohe:

$$F_{zh} = 3914,2 \text{ N}$$

Bočná zložka sily na hlavnej podvozkovej nohe smerom dnu:

$$F_{bh1} = 2943,0 \text{ N}$$

Bočná zložka sily na hlavnej podvozkovej nohe smerom von:

$$F_{bh2} = 1942,4 \text{ N}$$

## 7.8. Dodatočné podmienky pre prednú podvozkovú nohu

Najkritickejšia konfigurácia (Príloha B):

Tab. 7.2 Kritická konfigurácia

Konfigurácia		Centráž
V	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 82 kg + batožina 14,9 kg (krídlo)	30,03%

### 7.8.1. Zaťaženie smerom dozadu

Zvislá zložka sily na prednej podvozkovej nohe:

$$F_{zp} = 2978,9 \text{ N}$$

Dopredná a odporová zložka sily:

$$F_{hp} = 2383,1 \text{ N}$$

### 7.8.2. Zat'azenie smerom dopredu

Zvislá zložka sily na prednej podvozkovej nohe:

$$F_{zp} = 2978,9 \text{ N}$$

Dopredná a odporová zložka sily:

$$F_{hp} = 1191,6 \text{ N}$$

### 7.8.3. Bočné zat'azenie

Zvislá zložka sily na prednej podvozkovej nohe:

$$F_{zp} = 2978,9 \text{ N}$$

Bočná zložka sily na prednej podvozkovej nohe:

$$F_{bp} = 2085,2 \text{ N}$$

## 7.9. Zhrnutie

Tab. 7.3 Hlavná podvozková noha

Hlavná podvozková noha				
Prípad	Sila	Stlačenie	$\alpha_0 - \Delta\alpha_0$	Posun osy kolesa
Vodorovné pristátie zo sklonenými reakciami	$F_{zh} = 6292,6 \text{ N}$ $F_{hh} = 1879,1 \text{ N}$	Dynamické	$14,774^\circ$	$203 \text{ mm}$
Vodorovné pristátie s pried'ovým kolesom tesne nad zemou	$F_{zh} = 7225,0 \text{ N}$ $F_{hh} = 2296,8 \text{ N}$	Dynamické	$3,363^\circ$	$259 \text{ mm}$
Pristátie s veľkým uhlom pozdĺžneho sklonu	$F_{zh} = 6931,1 \text{ N}$ $F_{hh} = 2039,9 \text{ N}$	Dynamické	$4,317^\circ$	$256 \text{ mm}$
Podmienky brzdenia pri pojazde				
Najvyššia statická sila na HPN	$F_{zh} = 2251,5 \text{ N}$ $F_{hh} = 1801,2 \text{ N}$	Statické	$32,761^\circ$	$85 \text{ mm}$
Najvyššia statická sila na PPN	$F_{zh} = 2138,1 \text{ N}$ $F_{hh} = 1710,5 \text{ N}$	Statické	$33,719^\circ$	$83 \text{ mm}$
Bočné zat'azenie				
Zat'azenie smerom dnu	$F_{zh} = 3914,2 \text{ N}$ $F_{bh1} = 2943,0 \text{ N}$	Statické	$32,761^\circ$	$85 \text{ mm}$
Zat'azenie smerom von	$F_{zh} = 3914,2 \text{ N}$ $F_{bh2} = 1942,4 \text{ N}$	Statické	$32,761^\circ$	$85 \text{ mm}$

Tab. 7.4 Predná podvozková noha

<b>Predná podvozková noha</b>			
<b>Prípad</b>	<b>Sila</b>	<b>Stlačenie</b>	<b>Posun osy kolesa</b>
Vodorovné pristátie zo sklonenými reakciami	$F_{zp} = 7592,5 \text{ N}$ $F_{hp} = 2267,3 \text{ N}$	Dynamické	154 mm
<b>Podmienky brzdenia pri pojazde</b>			
Najvyššia statická sila na HPN	$F_{zp} = 3325,4 \text{ N}$	Statické	55 mm
Najvyššia statická sila na PPN	$F_{zp} = 3552,2 \text{ N}$	Statické	49 mm
Zaťaženie smerom dozadu	$F_{zp} = 2978,9 \text{ N}$ $F_{hp} = 2383,1 \text{ N}$	Statické	55 mm
Zaťaženie smerom dopredu	$F_{zp} = 2978,9 \text{ N}$ $F_{hp} = 1191,6 \text{ N}$	Statické	55 mm
Bočné zaťaženie	$F_{zp} = 2978,9 \text{ N}$ $F_{bp} = 2085,2 \text{ N}$	Statické	55 mm

## 8. VZDIALENOSŤ VRTUĽA-ZEM (CLEARANCE)

Na základe dokumentu [15] bod CS-VLA 925 (a) :

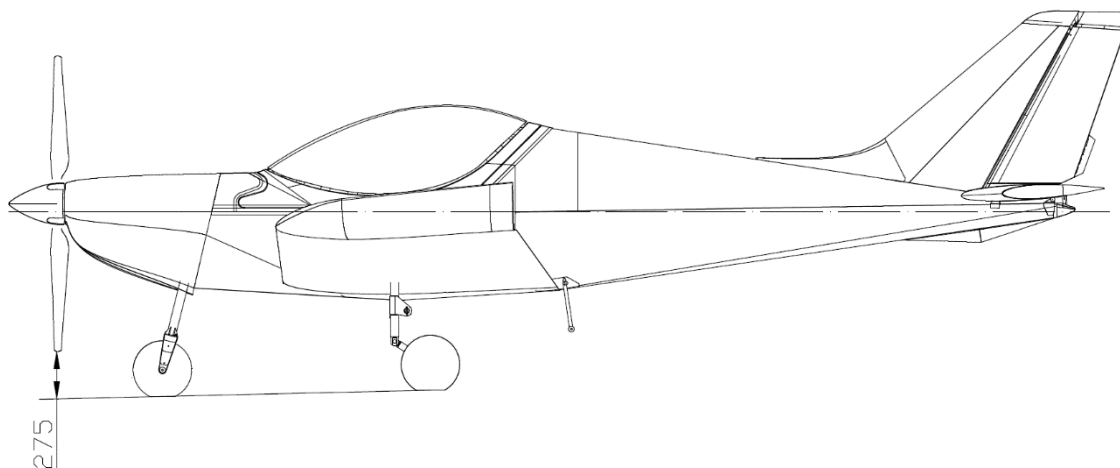
a) Vzďialenosť vrtule od zeme musí byť najmenej 180 mm s pristávacím zariadením staticky stlačeným.

Prípad:

### • Najvyššia statická sila HPN

Vzďialenosť vrtuľa-zem

275 mm

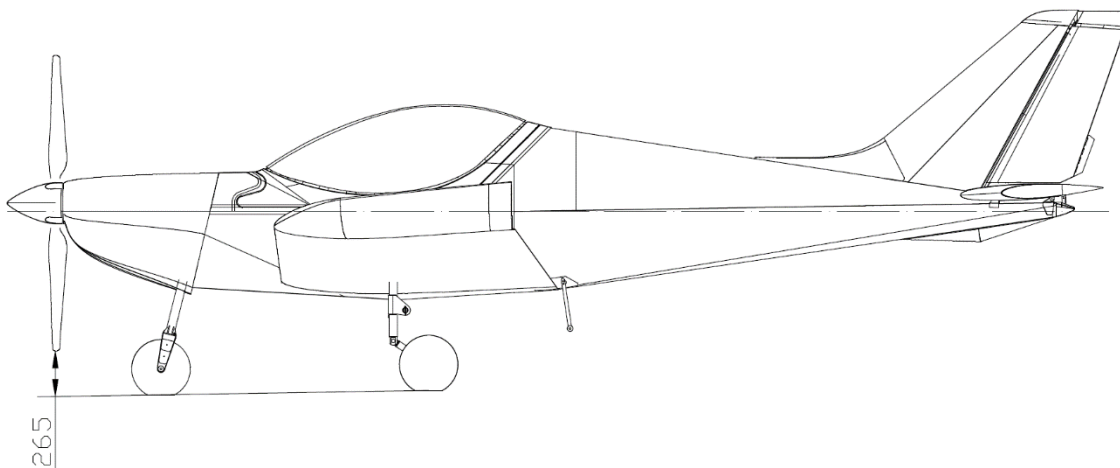


Obr. 8.1 Vzďialenosť vrtuľa -zem -Najväčšia statická sila HPN

### • Najvyššia statická sila PPN

Vzďialenosť vrtuľa-zem

265 mm



Obr. 8.2 Vzďialenosť vrtuľa -zem -Najväčšia statická sila PPN

b) Každý letún s konvenčným vzperovým podvozkom používajúcim kvapaliny alebo mechanické prostriedky pre pohltenie pristávacích rázov, musí mať určitú vzďialenosť medzi vrtuľou a zemou v rovine vzletovej polohy s kritickou pneumatikou úplne vypustenou a odpovedajúcou poodvozovou vzperou stlačenou.

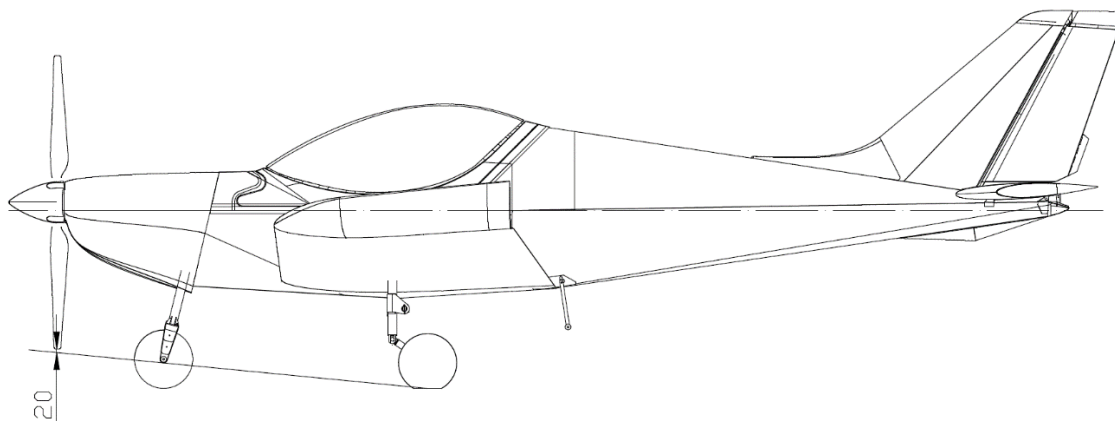
### Kritická konfigurácia

Tab. 8.1 Kritická konfigurácia

Konfigurácia		Centráž
V	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 82 kg + batožina 14,9 kg (krídlo)	30,03%

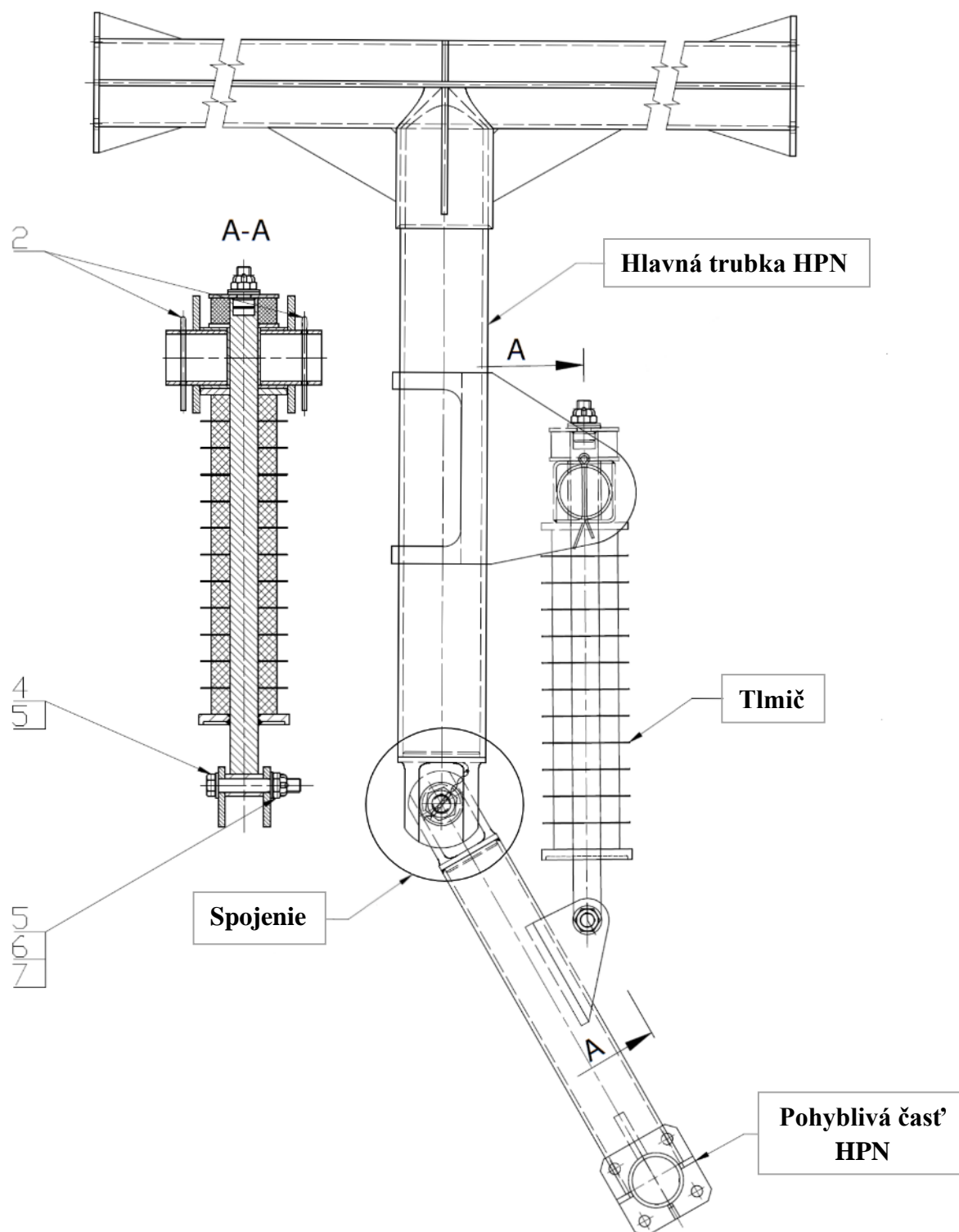
Vzdialenosť vrtuľa-zem

20 mm



Obr. 8.3 Vzďialenosť vrtuľa -zem - Kritická konfigurácia

## 9. KONŠTRUKČNÝ NÁVRH HPN

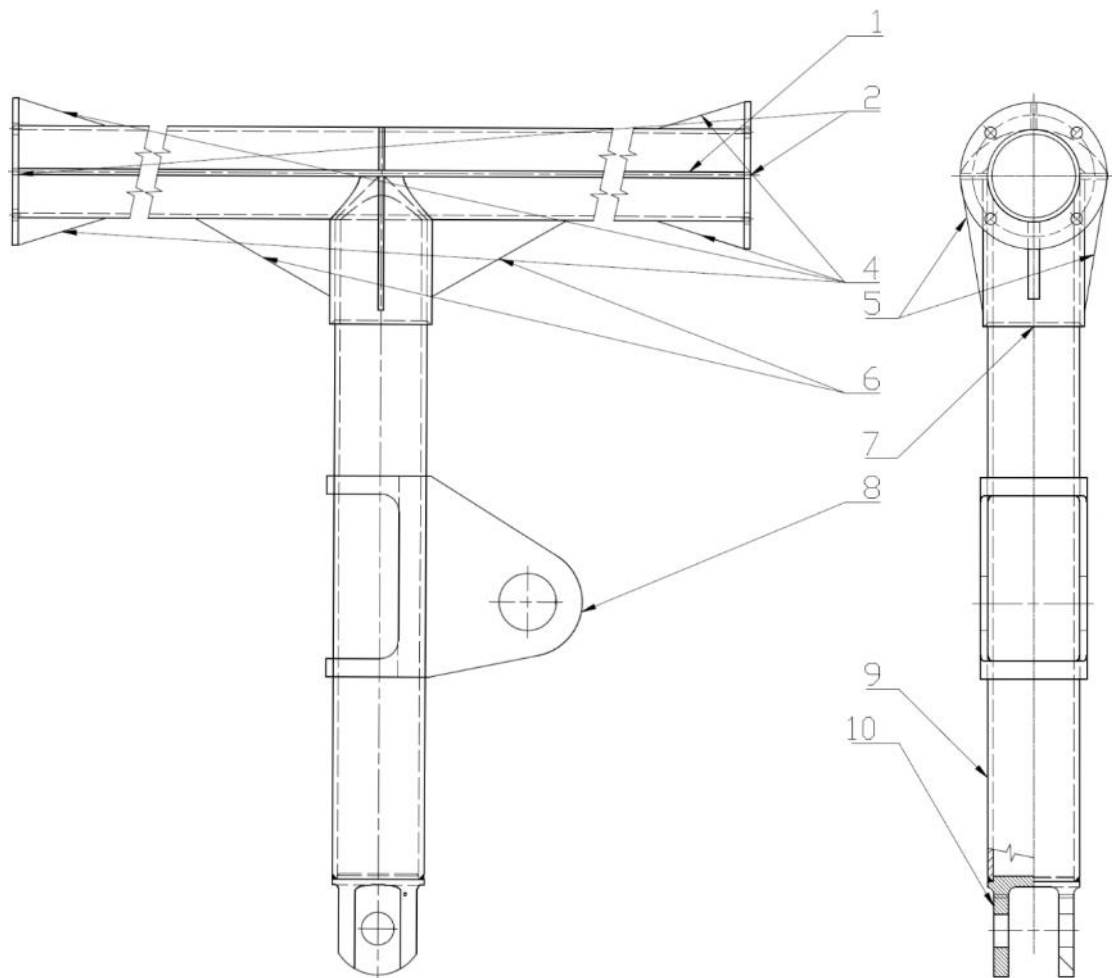


2 – CSN1781.05 3,2x45POZ. – Závlačka, 4 – SG0313N – Šrób 1,5 – AN960 – 516  
 – Podložka, 6 – AN310 – 5 – Korunová matica, 7 – MS24665 – 210 – Závlačka

Obr. 9.1 Zostava HPN



## 9.1. Hlavná trubka HPN



1 – SG0324N – Výztuha zástavby, 2 – SG0322N – Príruba zástavby, 3 – SG0327N –  
–Výztuha trubky 1, 4 – 0326N – Výztuha príruby, 5 – SG0328N – Výztuha krutu, 6 –  
–SG0329N – Výztuha trubky 2, 7 – SG0325N – Príruba, 8 – SG03200N – Záves, 9 –  
–SG0323N – Trubka, 10 – SG0320N – Konzola

Obr. 9.2 Hlavná trubka HPN

Podrobné informácie o zostave zvarencu na Obr.9.2 je uvedená vo výkresoch (Príloha G). Po zvarení je nutné súčasť tepelne upraviť( zušľachtiť na 690 MPa)

**Hmotnosť zvarencu**

4929 g

**Materiál súčastí**

AISI 4130

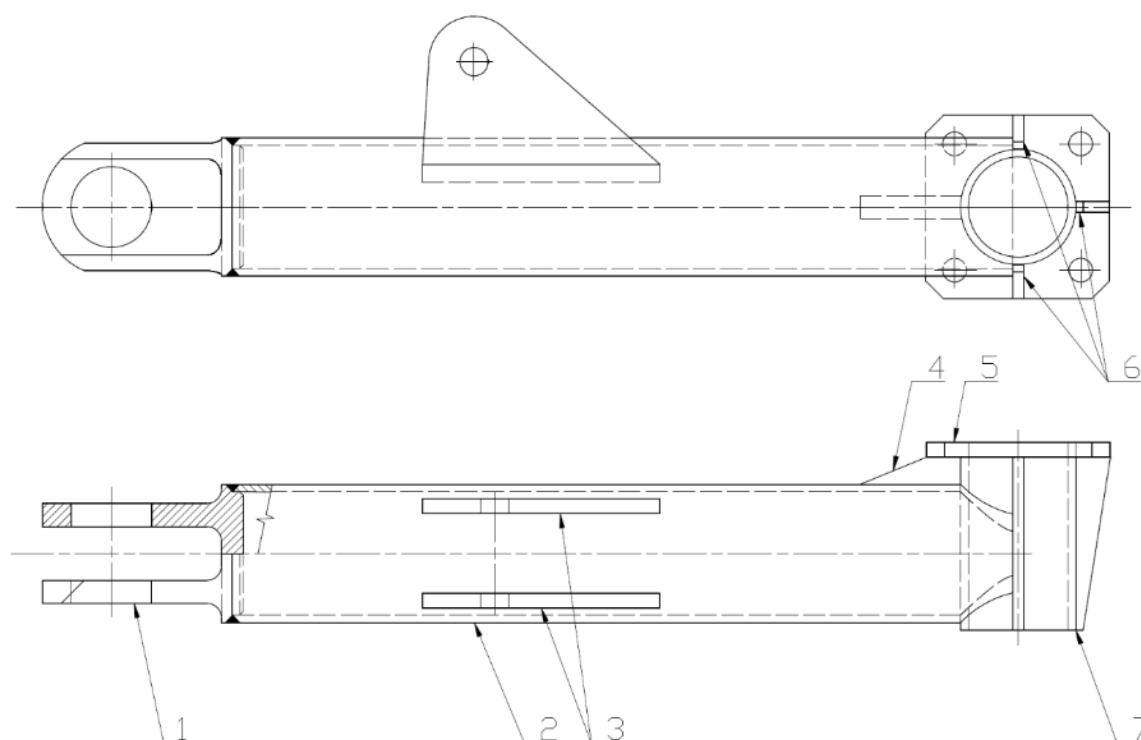
**Medza klzu po tepelnom spracovaní**

690 MPa

**Medza pevnosti po tepelnom spracovaní**

1000 MPa

## 9.2. Pohyblivá časť HPN



1 – SG0330N – Konzola, 2 – SG0336N – Trubka, 3 – SG0333N – Záves, 4 – SG0335N – Rebro prírubby 1, SG0331N – Príruba, 6 – SG0334N – Rebro prírubby, 7 – SG0332N – Trubka prírubby

Obr. 9.3 Pohyblivá časť HPN

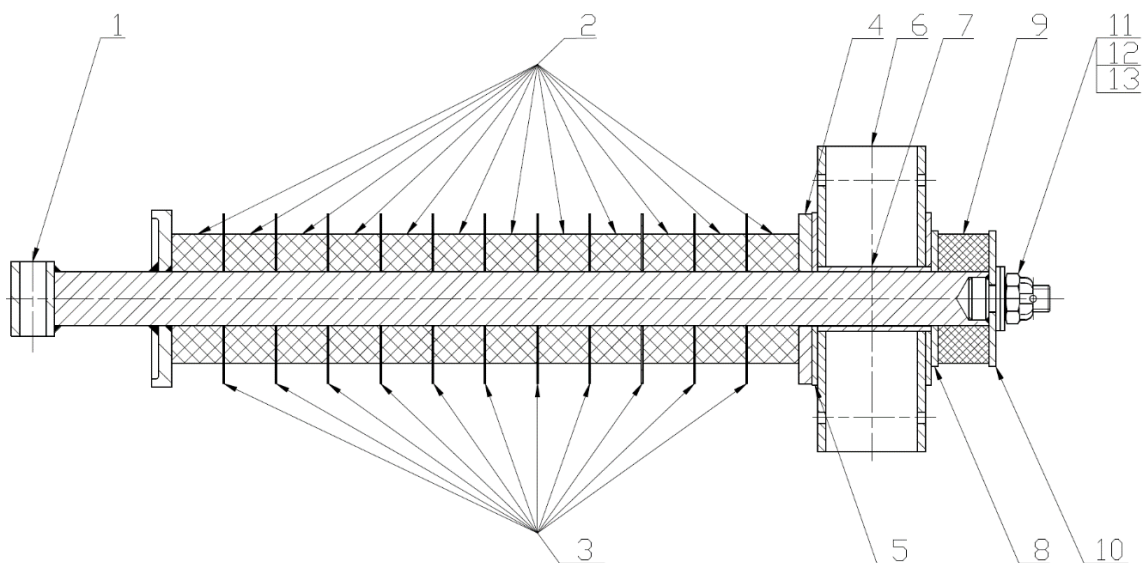
Podrobné informácie o zostave zvarencu na Obr.9.3 je uvedená vo výkresoch (Príloha G). Po zvarení je nutné súčasť tepelne upraviť (zušľachtiť na 690 MPa).

<b>Hmotnosť zvarencu</b>	829 g
<b>Materiál súčastí</b>	AISI 4130
<b>Medza klzu po tepelnom spracovaní</b>	690 MPa
<b>Medza pevnosti po tepelnom spracovaní</b>	1000 MPa

## 9.3. Tlmič

Podrobné informácie o zostave tlmiča na Obr.9.4 sú uvedené vo výkresoch (Príloha G). Súčasť v pozícii 1-SG0305N-Telo tlmiča nutné po zvarení podrobiť tepelnej úprave (zušľachtiť na 690 MPa).

<b>Hmotnosť tlmiču</b>	852 g
------------------------	-------

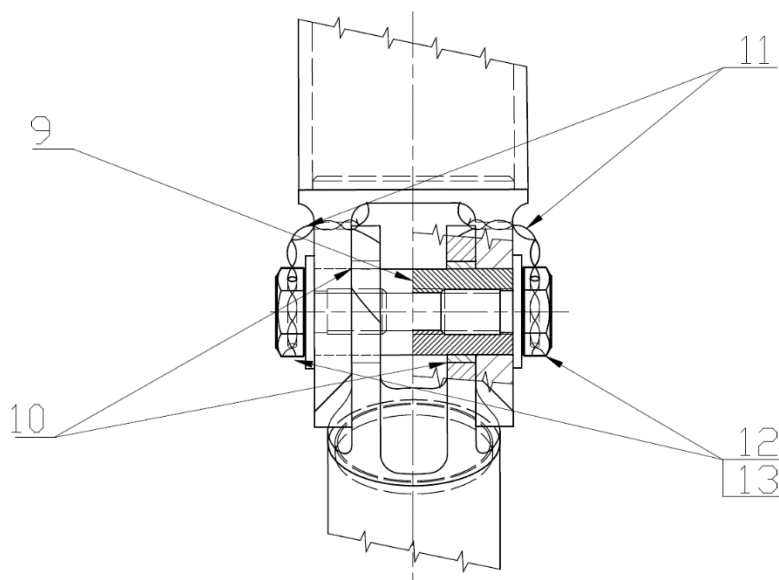


1 – SG0305N – Telo tlmiča, 2 – SG0340N – PU element, 3 – SG0341N – Medzipodložka, 4 – SG0342N – Medzipodložka, 5 – SG0346N – Profil zvar., 6 – SG0347N – Trubka, 7 – SG0348N – Uloženie, 8 – SG0345N – Podložka, 9 – SG0343N – Spätné tlmenie, 10 – SG0344N – Podložka tlmenia, 11 – AN310 – 5 – Matica korunová, 12 – AN960 – 516 – Podložka, 13 – MS24665 – 210 – Závlastka

Obr. 9.4 Tlmič

## 9.4. Spojenie

Podrobné informácie o spojení na Obr.9.5 sú uvedené vo výkresoch (Príloha G).



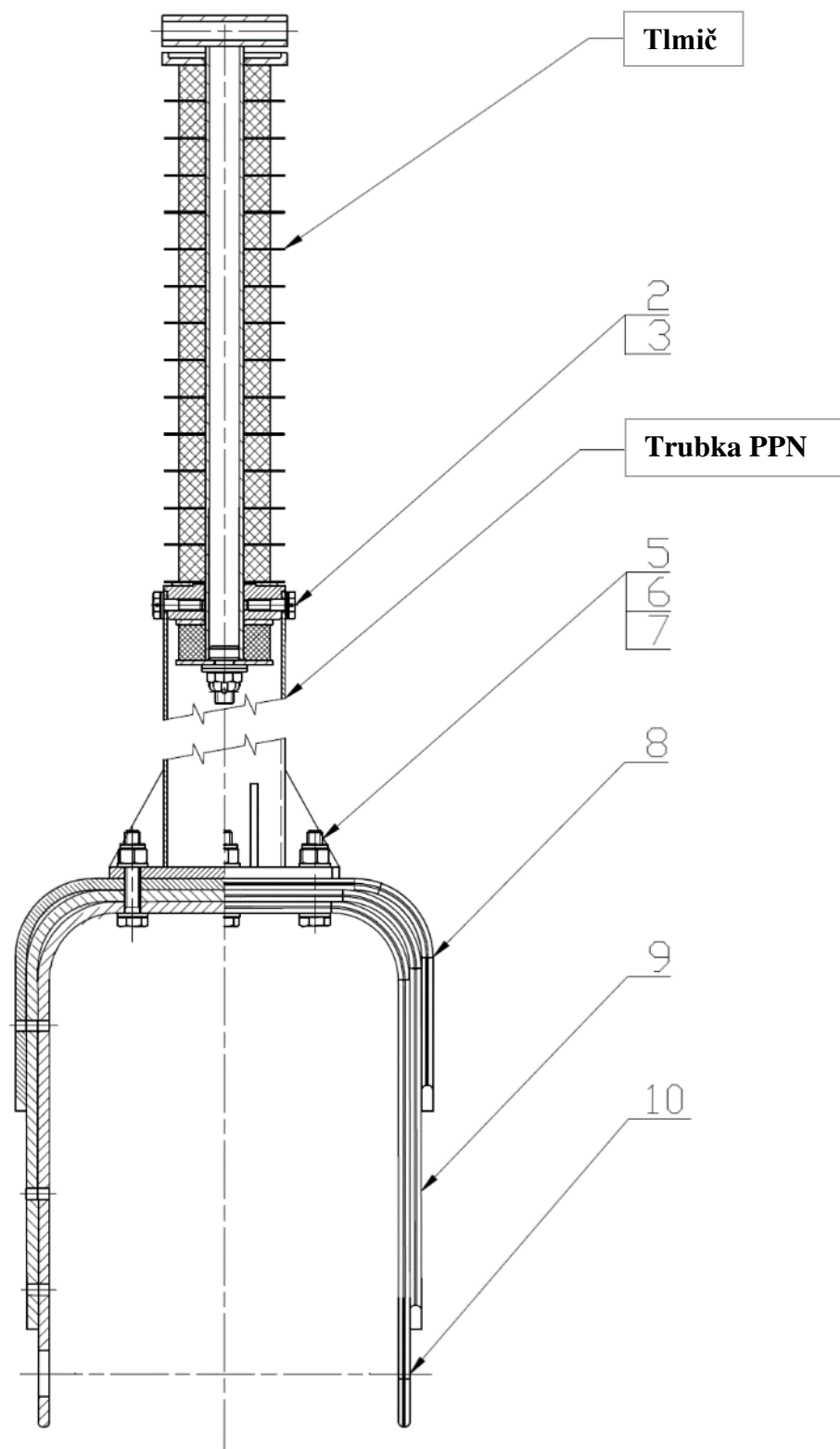
9 – SG0310N – Oska, 10 – 12Y04COD14 – Axiálne púzdro – 11 – 05 – 02685 – Zaisťovací drôt 0,032'' Nerez 304/302, –SG0311N – Šrób 2, 13 – SG0312N – Podložka

Obr. 9.5 Spojenie

**Hmotnosť tlmiča**

123 g

## 10. KONŠTRUKČNÝ NÁVRH PPN



2 – AN3H – 5A – Šrób, 3 – AN960 – 10L – Podložka, 5 – AN174 – 12A – Šrób,  
6 – AN960 – 416L – Podložka, 7 – AN365 – 428 – Matica samojistná, 8 – SG0212N  
– Vidlica 3, 9 – SG0211N – Vidlica 2, 10 – SG0210N – Vidlica 1

Obr. 10.1 Zostava PPN

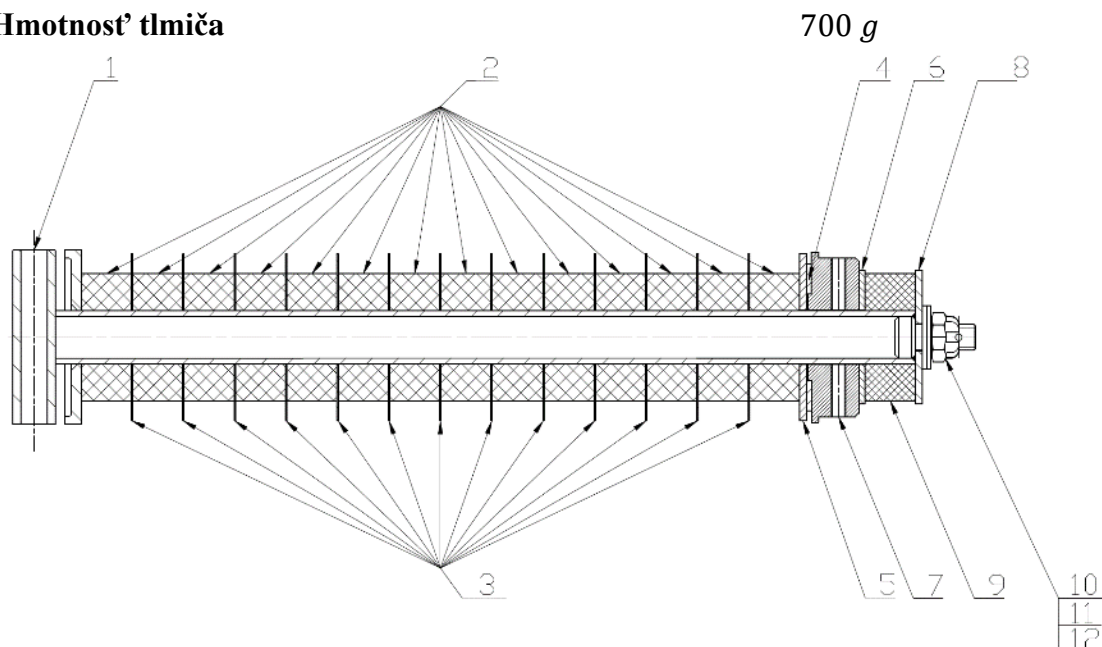
Hmotnosť vidlice

1182 g

## 10.1. Tlmič

Podrobné informácie o zostave tlmiča na Obr.10.2 sú uvedené vo výkresoch (Príloha G).

### Hmotnosť tlmiča



1 – SG0203N – Telo tlmiča, 2 – SG0220N – PU elmenet, 3 – SG0221N – Medzipodložka, 4 – 26COB.014W – Axiálna podložka metrická, 5 – SG0225N – Podložka 1, 6 – SG0224N – Podložka tlmenia, 7 – SG0226N – Príruba, 8 – SG0223N – Podložka, 9 – SG0222N – Spätné tlmenie, 10 – AN310 – 5 – Matica korunova, 11 – AN960 – 516 – Podložka, 12 – MS24665 – 210 – Závlačka

Obr. 10.2 Tlmič

## 10.2. Trubka PPN

Podrobné informácie o zostave zvarencu na Obr. 10.3 je uvedená vo výkresoch (Príloha G). Po zvarení je nutné súčasť tepelne upraviť (zušľachtiť na 690 MPa).

### Hmotnosť zvarencu

1700 g

### Materiál súčastí

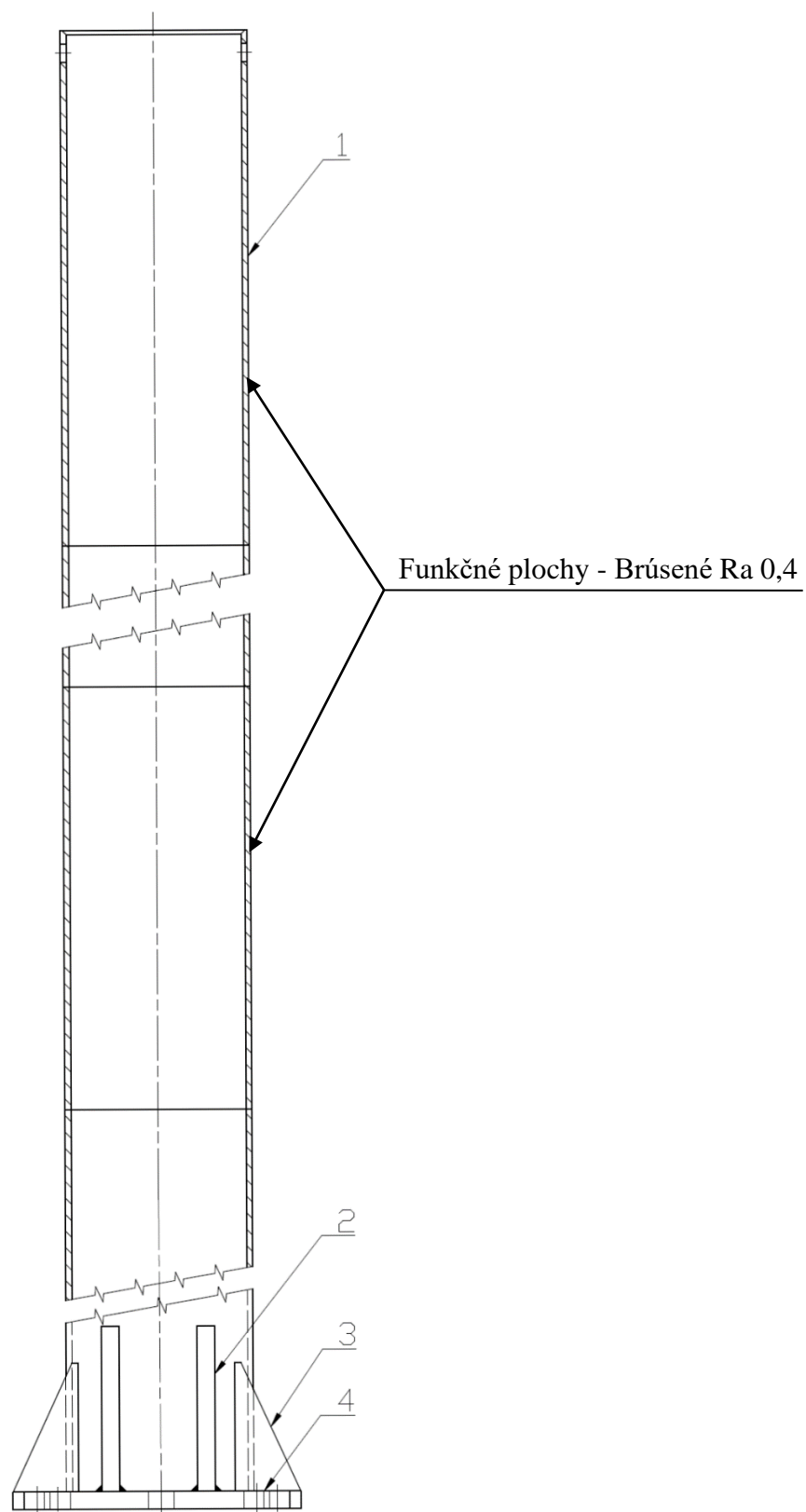
AISI 4130

### Medza klzu po tepelnom spracovaní

690 MPa

### Medza pevnosti po tepelnom spracovaní

1000 MPa

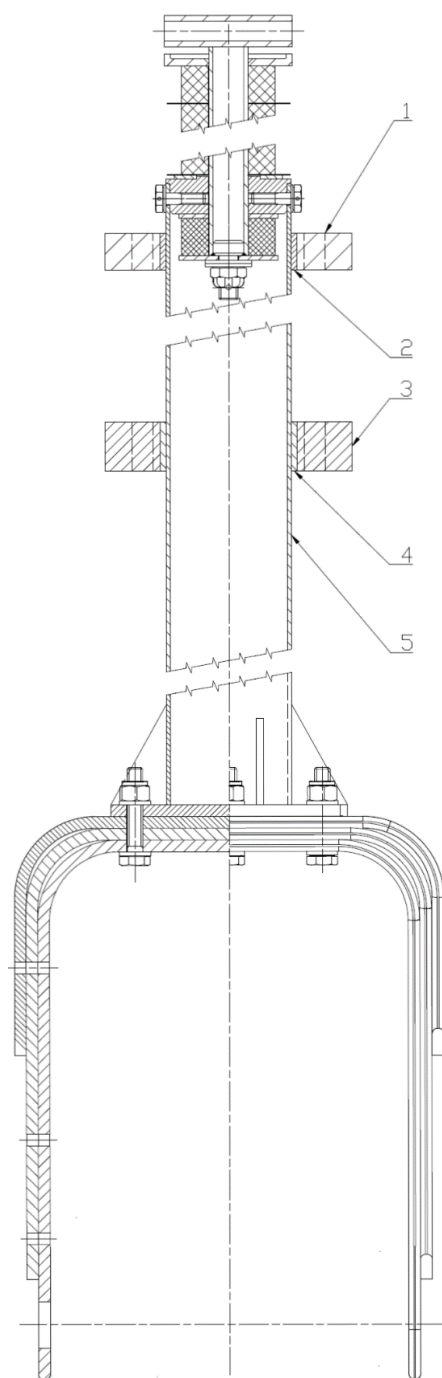


1 – SG0249N – Trubka, 2 – SG0250N – Výztuha 1, 3 – SG0272N – Výztuha 2, 4 – SG0273N – Príložka

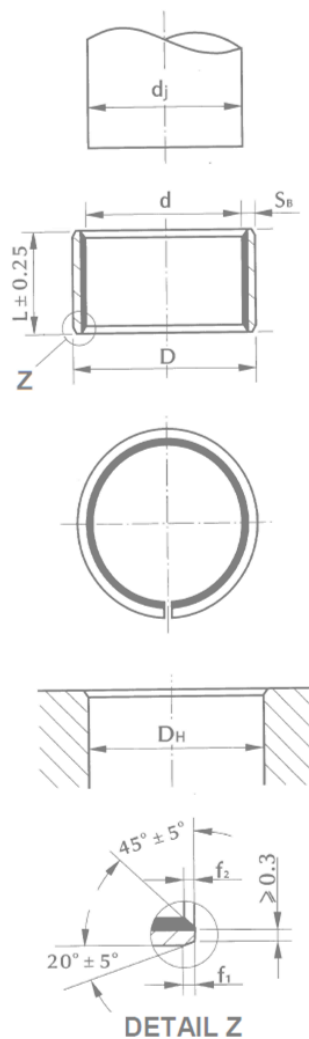
Obr. 10.3 Trubka PPN

### 10.3.Uloženie PPN

Uloženie je tvorené dvoma sklotextitovými blokmi geometrie uvedenej vo výkresoch (Príloha G). Možnosť pohybu dovoľujú dve klzné ložiská.



Klzné ložisko – pozícia 2 a 4



1 – SG0214N – Horné uloženie, 2 – 32Y08 COB 010 – Púzdro palcové[23],  
3 – SG0213N – Dolné uloženie, 4 – 32Y16 COB 010 – Púzdro palcové[23],  
5 – SG0204N – Predné púzdro

Obr. 10.4 Uloženie

**Hmotnosť horného uloženia**

230,5 g

**Hmotnosť dolného uloženia**

307,5 g

## 11. MKP ANALÝZA

Analýza modelu je vykonaná v programe Solid Edge od firmy Siemens v module Simulation. Riešič programu Solid Edge je NASTRAN. Konštrukcia je modelovaná v polohách uvedených v Tab.7.3 a Tab. 7.4.

### 11.1.HPN

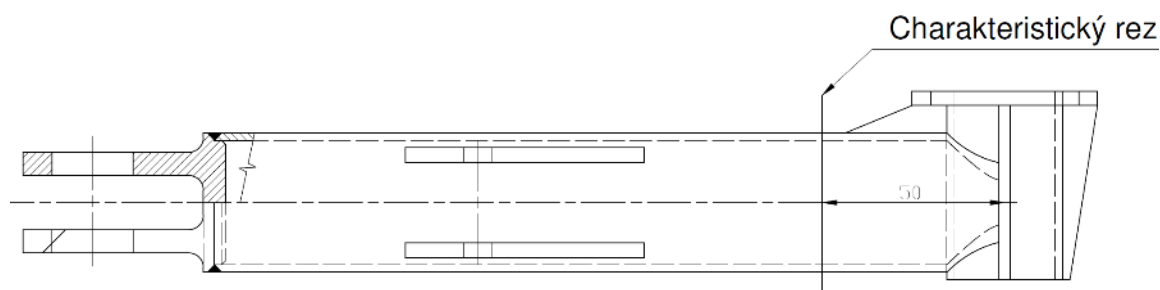
Analýza je vykonaná na súčastiach:

- Hlavná trubka (Príloha E)
- Pohyblivá časť HPN (Príloha E)
- Uloženie tlmiča (kapitola 11.1.2)
- Telo tlmiča (kapitola 11.1.3)

#### 11.1.1. Hlavná trubka, pohyblivá časť

- Analytický kontrola MKP výpočtu

Charakteristický výpočtový rez je určený na obrázku nižšie. Výpočtovým prípadom je pristátie s veľkým uhlom pozdĺžneho sklonu.



Obr. 11.1 Charakteristický rez

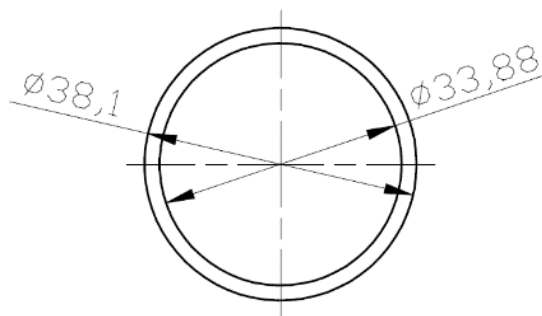
Tab. 11.1 Zaťaženie v charakteristickom výpočtovom reze

	Normálová sila	Posúvajúca sila	Ohybový moment z	Ohybový moment y	Krútiaci moment
	[N]	[N]	[Nm]	[Nm]	[Nm]
<b>Zaťaženie</b>	1512,9	7065	155,7	353,2	727,3

Tab. 11.2 Charakteristiky prierezu

Veličina	Hodnota
<b>Priemer</b>	38,1 mm
<b>Hrúbka steny</b>	2,11 mm
<b>Obsah prierezu</b>	238,4 mm <sup>2</sup>
<b>Kvadratický moment prierezu</b>	38732 mm <sup>4</sup>
<b>Priemer strednice</b>	18 mm
<b>Moment tuhosti</b>	77464 mm <sup>4</sup>
<b>Modul odporu</b>	4066,4 mm <sup>3</sup>





Obr. 11.2 Geometria charakteristického rezu

Normálová sila

$$\sigma_N = \frac{F_N}{S} \quad [MPa] \quad (11.1)$$

$$\sigma_N = 6,35 \text{ MPa}$$

Posúvajúca sila

$$\tau_T = \frac{F_T}{S} \quad [MPa] \quad (11.2)$$

$$\tau_T = 29,66 \text{ MPa}$$

Ohybový moment osa z

$$\sigma_{oz} = \frac{M_{oz}}{W_o} \quad [MPa] \quad (11.3)$$

$$\sigma_{oz} = 72,36 \text{ MPa}$$

Ohybový moment osa y

$$\sigma_{oy} = \frac{M_{oy}}{W_o} \quad [MPa] \quad (11.4)$$

$$\sigma_{oy} = 164,17 \text{ MPa}$$

Krútiaci moment

$$\tau_{M_k} = \frac{M_k}{W_k} \quad [MPa] \quad (11.5)$$

$$\tau_{M_k} = 178,87 \text{ MPa}$$

Redukované napätie

$$\sigma_{red} = \sqrt{(\sigma_N + \sigma_{oy} + \sigma_{oz})^2 + 3 \cdot (\tau_T + \tau_{M_k})^2} \quad [MPa] \quad (11.6)$$

$$\sigma_{red} = 435,25 \text{ MPa}$$

- **MKP analýza**

Z dôvodu prehľadnosti dokumentu sú výsledky MKP uvedené v Prílohe E.

Napätie v oblasti charakteristického rezu:

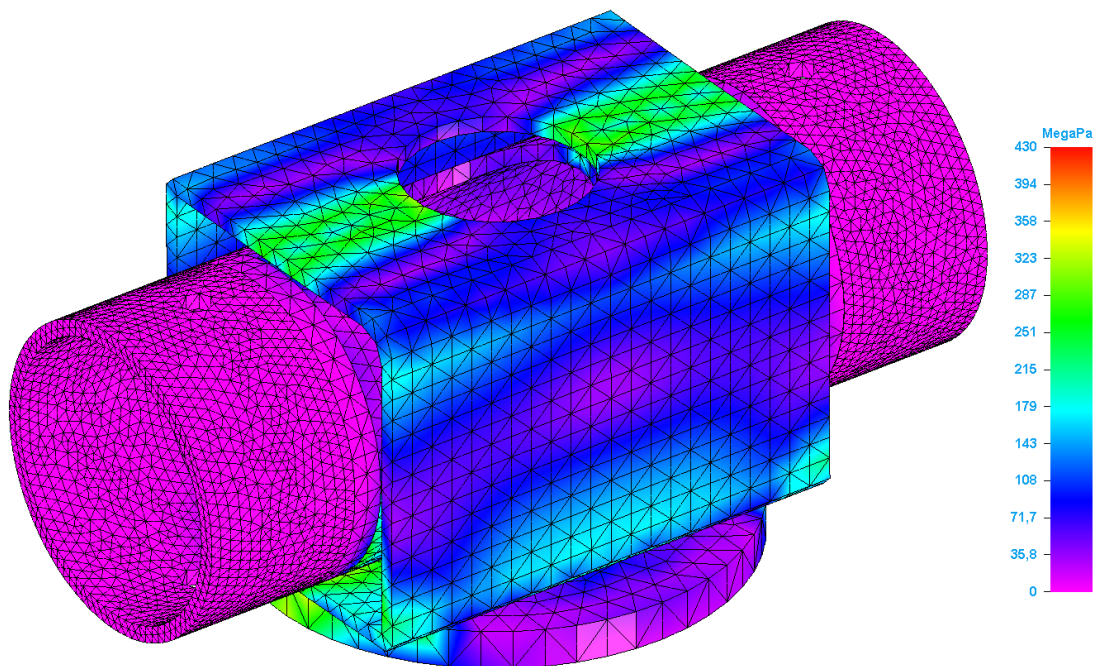
$$\sigma_{char} = 436,1 \text{ MPa}$$

- **Výsledok analýzy**

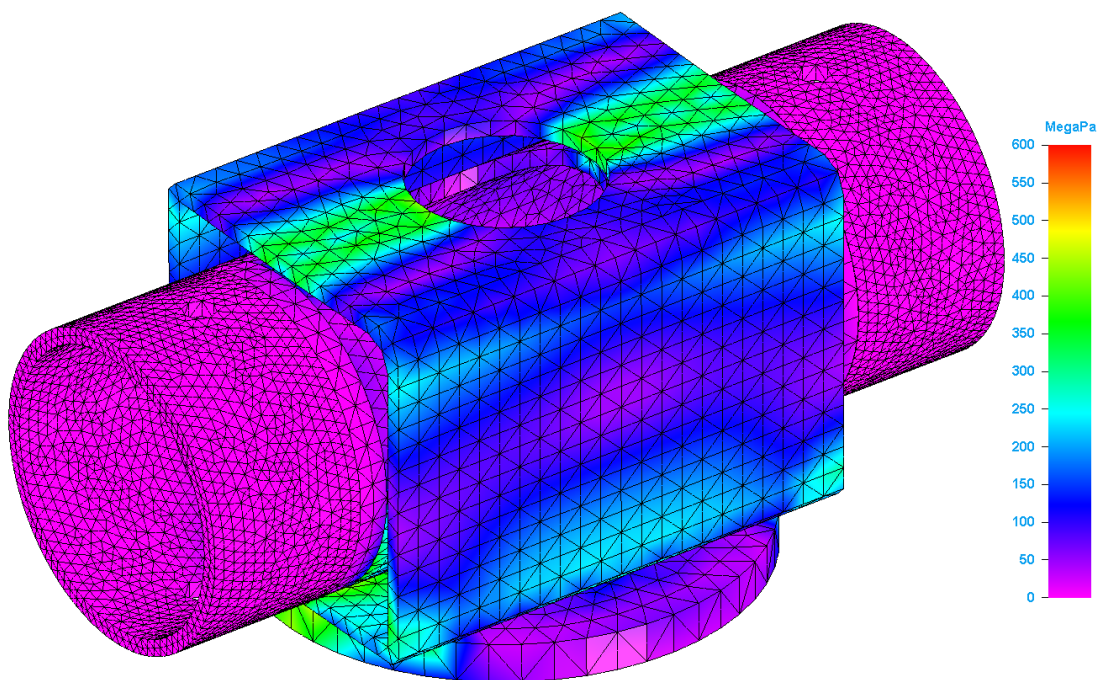
Analytický výpočet sa oproti MKP analýze líši o 0,2%, čo je obecné považované za prijateľnú odchýlku.

### 11.1.2. Uloženie tlmiča

Kritický prípad : Vodorovné pristátie s pried'ovým kolesom tesne nad zemou



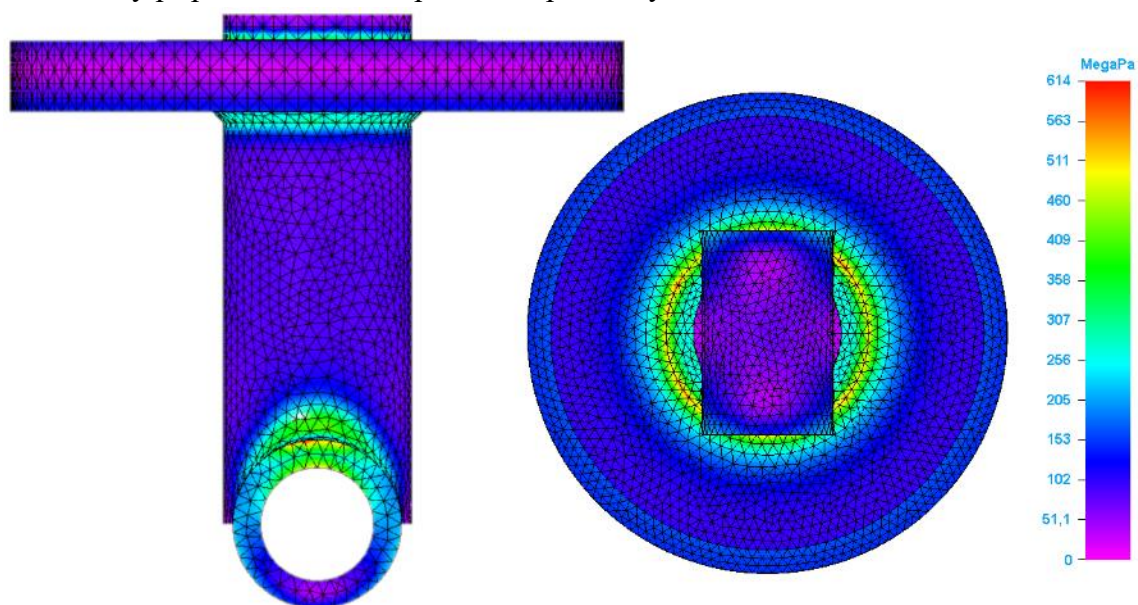
Obr. 11.3 Prevádzkové zaťaženie



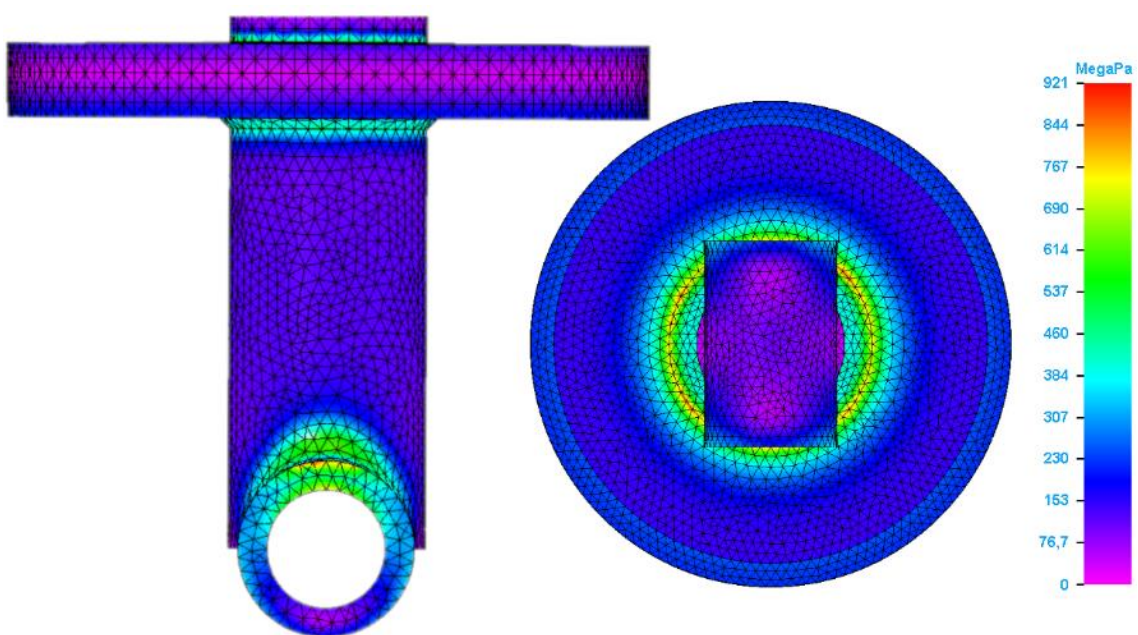
Obr. 11.4 Početné zaťaženie

### 11.1.3. Telo tlmiča

Kritický prípad : Vodorovné pristátie s predňým kolesom tesne nad zemou



Obr. 11.5 Prevádzkové zaťaženie



Obr. 11.6 Početné zaťaženie

#### 11.1.4. Zhrnutie MKP HPN [19][20][21][22]

Tab. 11.3 MKP analýza HPN

Súčasť	Analýza	Prípad	Napätie	Dovolené napätie	Koeficient bezpečnosti
	[–]	[–]	[MPa]	[MPa]	[–]
Uloženie tlmiča	Obr.11.1	Prevádzkový	427,5	517	1,21
	Obr. 11.2	Početný	599,7	800	1,33
Telo tlmiča	Obr.11.3	Prevádzkový	614	690	1,12
	Obr.11.4	Početný	921	1000	1,09
Hlavná trubka	PR.14/15	Prevádzkový	684,5	690	1,01
	PR.17/18	Početný	987,5	1000	1,01
Pohyblivá časť HPN	PR.14/16	Prevádzkový	680,2	690	1,02
	PR.17/19	Početný	982,6	1000	1,02

## 11.2.PPN

Analýza je vykonaná na súčiastiach:

- Trubka PPN (Príloha E)
- Vidlica (Príloha E)
- Horné a dolné uloženie (Príloha E)
- Telo tlmiča (Kapitola 11.2.2)
- Príruba (Kapitola 11.2.3)

### 11.2.1. Trubka PPN, Vidlica, Horné a Dolné uloženie

- Analytický výpočet

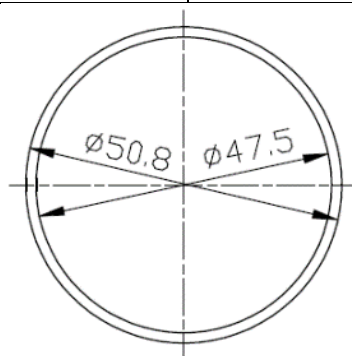
Charakteristický výpočtový rez je určený polohou dolného uloženia. Výpočtovým prípadom je vodorovné pristátie so sklonenými reakciami.

Tab. 11.4 Zaťaženie v charakteristickom výpočtovom reze

	Normálová sila	Posúvajúca sila	Ohybový moment
	[N]	[N]	[Nm]
Zaťaženie	7915,6	799,9	203,98

Tab. 11.5 Charakteristiky prierezu

Veličina	Hodnota
Priemer	50,8 mm
Hrúbka steny	1,65 mm
Obsah prierezu	254,9 mm <sup>2</sup>
Kvadratický moment prierezu	77062,1 mm <sup>4</sup>
Polomer strednice	24,57 mm



Obr. 11.7 Charakteristický rez

Normálová sila

$$\sigma_N = \frac{F_N}{S} \quad [MPa] \quad (11.7)$$
$$\sigma_N = 31,05 \text{ MPa}$$

Posúvajúca sila

$$\tau_T = \frac{F_T}{S} \quad [MPa] \quad (11.8)$$

$$\tau_T = 3,14 \text{ MPa}$$

Ohybový moment

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad [MPa] \quad (11.9)$$

$$\sigma_o = 65,04 \text{ MPa}$$

Redukované napätie

$$\sigma_{red} = \sqrt{(\sigma_N + \sigma_o)^2 + 3 \cdot \tau_T^2} \quad [MPa] \quad (11.10)$$

$$\sigma_{red} = 96,24 \text{ MPa}$$

- **MKP analýza**

Z dôvodu prehľadnosti dokumentu sú výsledky MKP uvedené v Prílohe F1 PR.45.

Napätie v oblasti charakteristického rezu:

$$\sigma_{char} = 97,45 \text{ MPa}$$

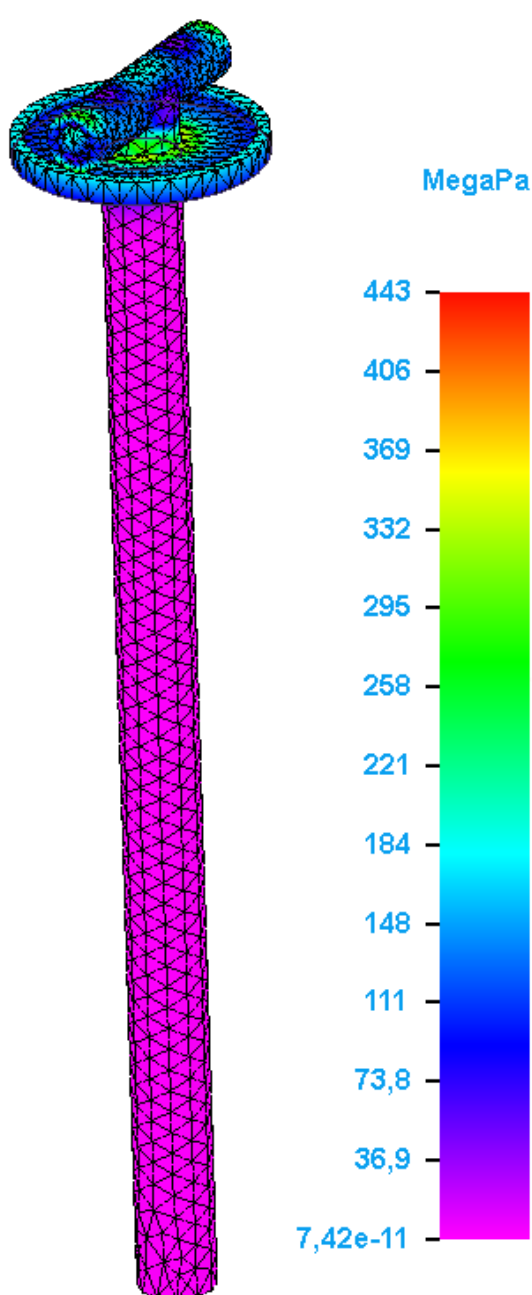
- **Výsledok analýzy**

Analytický výpočet sa oproti MKP analýze líši o 1,01%. čo je obecné považované za prijateľnú odchýlku.

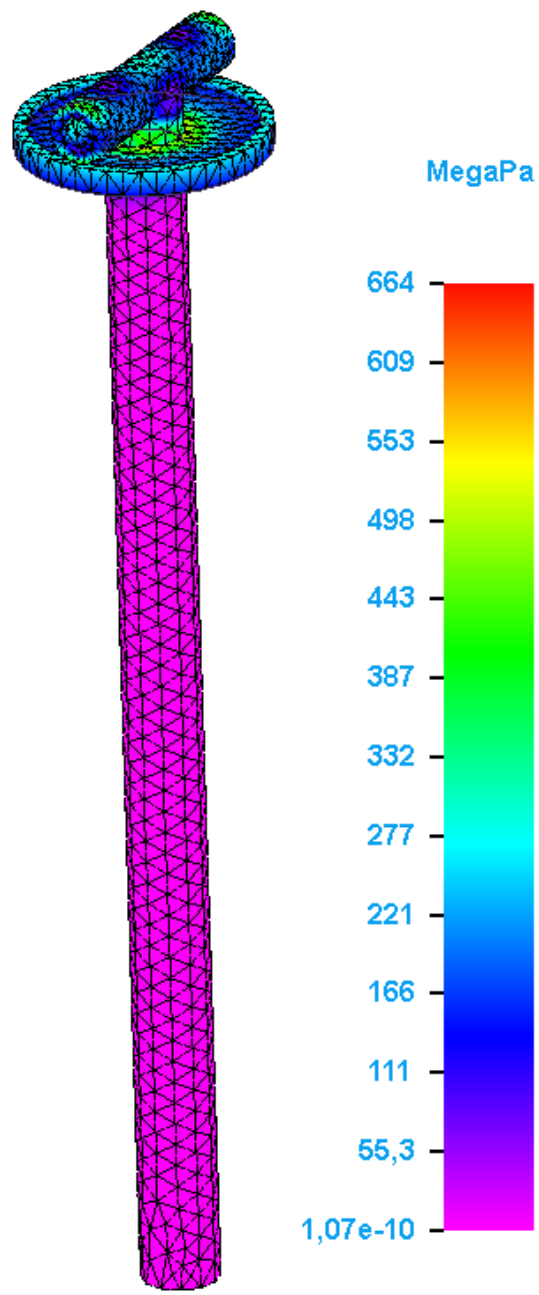


### 11.2.2. Telo tlmiča

Kritický prípad : Vodorovné pristátie so sklonenými reakciami



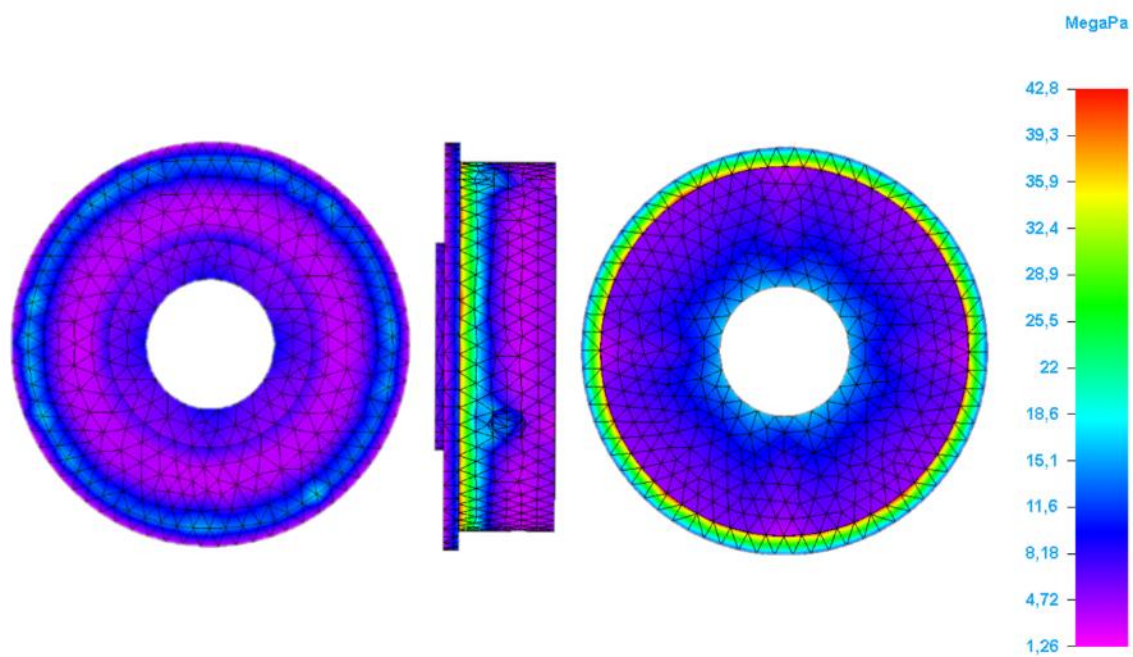
Obr. 11.8 Prevádzkové zaťaženie



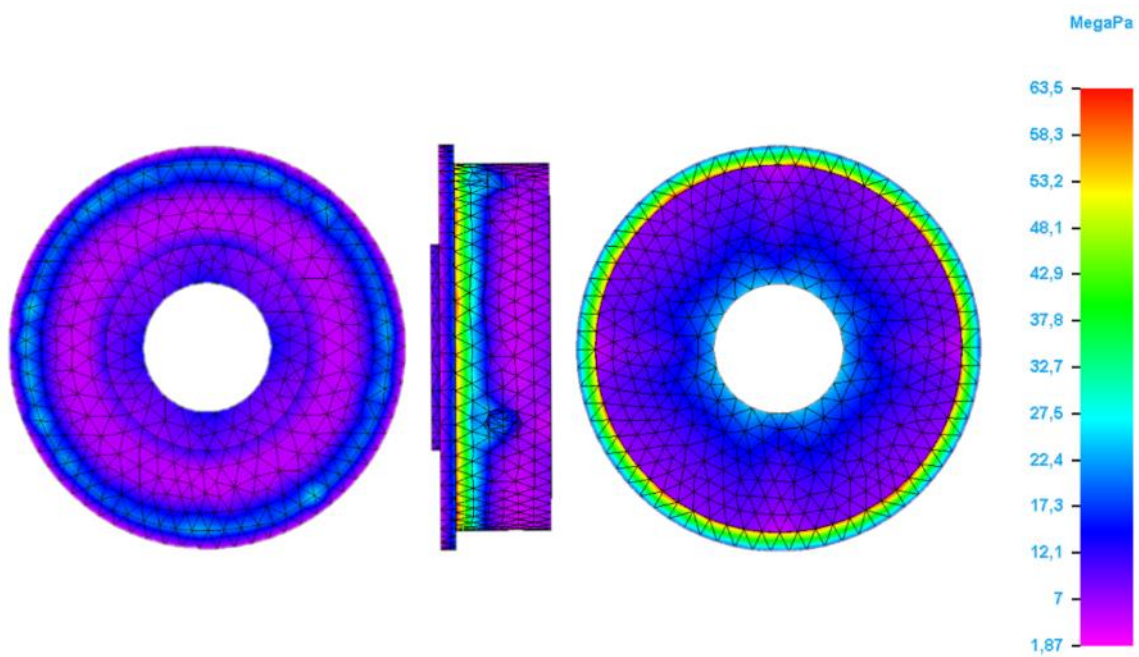
Obr. 11.9 Početné zaťaženie

### 11.2.3. Príruba

Prípad : Vodorovné pristátie so sklonenými reakciami



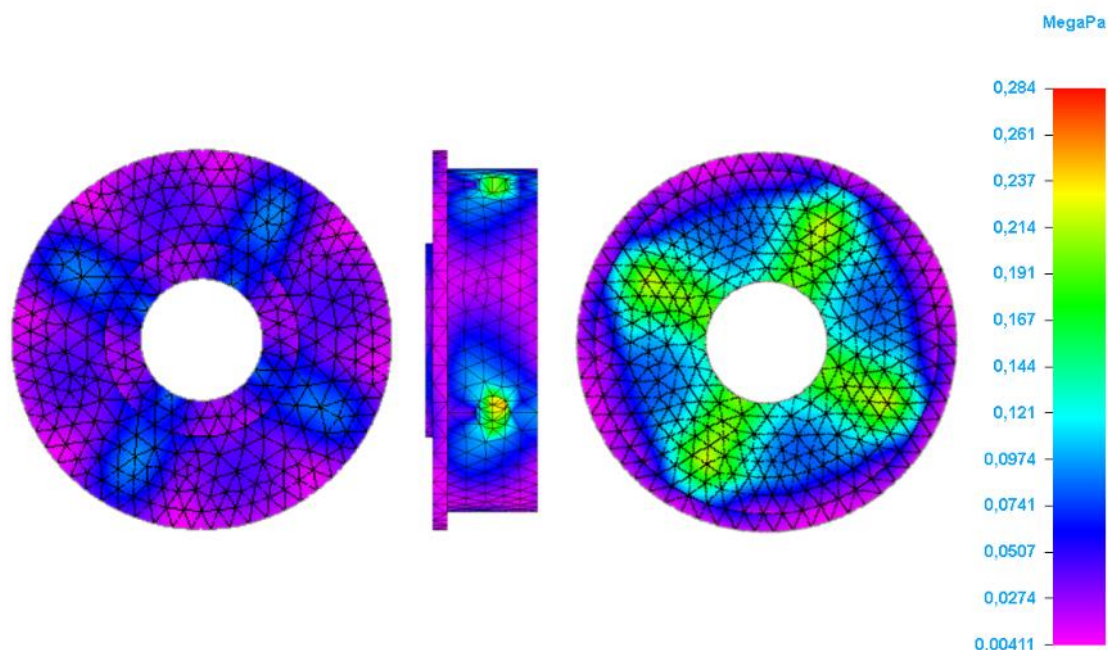
Obr. 11.10 Prevádzkové zaťaženie



Obr. 11.11 Početné zaťaženie



Prípad : Spätné tlmenie



Obr. 11.12 Prevádzkové zaťaženie

V prípade spätného tlmenia nie je vykonaná analýza početného zaťaženia z dôvodu výsledkov prevádzkového zaťaženia. Kritickým prípadom je vodorovné pristátie so sklonenými reakciami.

#### 11.2.4. Zhrnutie MKP PPN [19][20][21][22]

Tab. 11.6 MKP analýza PPN

Súčasť	Analýza	Prípad	Napätie	Dovolené napätie	Koeficient bezpečnosti
	[–]	[–]	[MPa]	[MPa]	[–]
Telo tmiča	Obr.11.7	Prevádzkový	443,2	517	1,17
	Obr. 11.8	Početný	665,3	800	1,20
Príruba	Obr.11.9	Prevádzkový	48,2	320	6,66
	Obr.11.10	Početný	63,6	480	7,55
Trubka PPN	PR.94/95	Prevádzkový	525,4	690	1,31
	PR.99/100	Početný	789,5	1000	1,27
Vidlica	PR.96	Prevádzkový	340,3	370	1,09
	PR.101	Početný	475,4	480	1,01
Horné uloženie	PR.98	Prevádzkový	53,4	430	8,05
	PR.103	Početný	83,65	430	5,14
Dolné uloženie	PR.97	Prevádzkový	282,5	430	1,52
	PR.102	Početný	427,3	430	1,01

## ZÁVER

Cieľom diplomovej práce bolo navrhnúť pristávacie zariadenie pre malý dvojmiestny letún. Ako typický zástupca tejto kategórie bol vybraný letún PS-28 Cruiser spoločnosti Czech Aircraft Group.

Úvod tejto práce obsahuje posúdenie dostupných technických riešení používaných pre letúny typu LSA (do 600 kg). Na základe rešerše a s prihliadnutím na požiadavky firmy Czech Aircraft Group bola pre prednú podvozkovú nohu vybraná jednoduchá riadená teleskopická koncepcia a pre hlavnú podvozkovú nohu koncepcia páková.

Kinematickým rozborom a následným iteračným výpočtom bola stanovená konečná geometria. Vhodná geometria a tvrdosť tlmiacich PU elementov bola vybraná na základe série statických a dynamických skúšok. Zvolenou konfiguráciou prednej a hlavnej podvozkovej nohy spoločne s vhodne navrhnutými tlmičmi sa podarilo znížiť maximálny prevádzkový násobok, respektíve zaťaženie konštrukcie, o 20% .

Pri návrhu konštrukcie podvozku a jeho zástavby bol kladený dôraz na maximálnu konštrukčnú a výrobnú jednoduchosť, rovnako ako na minimálnu hmotnosť. Pre prednú podvozkovú nohu je výsledkom zníženie hmotnosti o 25% a zníženie počtu vyrábaných dielov o 36% v porovnaní so sériovou variantou. Pri hlavnej podvozkovej nohe je porovnanie neobjektívne, pretože sa zásadne mení typ a spôsob zavesenia do okolitej konštrukcie. Napriek tomu, že došlo k navýšeniu hmotnosti o 10%. Hlavným benefitom tejto konfigurácie je možná modifikovateľnosť na zaťahovaciu koncepciu a zníženie prevádzkového násobku. Pre pevnostnú kontrolu podvozku bola s výhodou použitá metóda konečných prvkov. Pričom pre prípravu siete a následný postprocessing dát bol použitý program SolidEdge, kde riešičom MKP úlohy je NASTRAN. Pre overenie validity dát bola využitá analytická kontrola v charakteristických rezoch, pričom odchýlka oproti výsledkom MKP sa pohybuje v jednotkách percent.

Iteračným prístupom bolo riešené dimenzovanie všetkých častí prednej i hlavnej podvozkovej nohy. Výsledkom analýzy je rozsah koeficientu rezervy 1,01 – 1,33 pri hlavných častiach podvozkových nôh. Všetky súčasti predného a hlavného podvozku pevnostne vyhoveli.

Priložená výkresová dokumentácia je vydaná pod razítkom konzultačnej firmy Uranos R&D. Jedná sa o dokumentáciu určenú pre výrobu prvého testovacieho prototypu.

## ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] GUDMUNDSSON, Snorri. *General aviation aircraft design: applied methods and procedures*. Oxford: Elsevier, 2014. ISBN 978-0-12-397308-5.
- [2] DUŠAN SLAVĚTÍNSKÝ, Dušan. *O letadlech* [online]. [cit. 2019-02-14]. Dostupné z: <http://www.slavetind.cz/Default.aspx>
- [3] MILOSLAV, Petrásek. *KONSTRUKCE LETADEL III*. 1. Brno: Vojenská akademie v Brně, 22.
- [4] RANS. Rans-S-20LS-Raven-1. In: *Dan Johnson Media Corp.* [online]. 2020 [cit. 2020-11-24]. Dostupné z: [https://www.bydanjohnson.com/wp-content/uploads/2016/08/1868\\_1.jpg](https://www.bydanjohnson.com/wp-content/uploads/2016/08/1868_1.jpg)
- [5] SportCruiser. In: *Cruiseraircraft* [online]. Kunovice: Czech Aircraft Group s.r.o, 2020 [cit. 2020-11-24]. Dostupné z: <https://cruiseraircraft.cz/sliderimg/main-1.png>
- [6] *Aircraft Landing Gear Design:: Principles and Practices*. 2. Washington, D.C.: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1988.
- [7] THE LANDING GEAR. *Skyleader.aero* [online]. Czech republic: ZALL JIHLAVAN AIRPLANES, 2021, 2021 [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: [http://www.skyleader.aero/wp-content/uploads/2017/09/ensaioskyleader500\\_003\\_andregarcez-400x220.jpg](http://www.skyleader.aero/wp-content/uploads/2017/09/ensaioskyleader500_003_andregarcez-400x220.jpg)
- [8] Main landing gear. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a9/Oleo\\_trailing\\_link\\_main\\_landing\\_gear.JPG/400px-Oleo\\_trailing\\_link\\_main\\_landing\\_gear.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a9/Oleo_trailing_link_main_landing_gear.JPG/400px-Oleo_trailing_link_main_landing_gear.JPG)
- [9] Tecnam Exterior. *Tecnam* [online]. Italy: Tecnam aircraft, 2021 [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: <https://www.tecnam.com/wp-content/uploads/2020/12/p92-mkii-exterior-3-1.jpg>
- [10] Oleo torque link main landing gear. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/dd/Oleo\\_torque\\_link\\_main\\_landing\\_gear.JPG/600px-Oleo\\_torque\\_link\\_main\\_landing\\_gear.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/dd/Oleo_torque_link_main_landing_gear.JPG/600px-Oleo_torque_link_main_landing_gear.JPG)
- [11] *TYPE-CERTIFICATE DATA SHEET EASA.A.546: PS-28 Cruiser*. 2. Cologne: European Aviation Safety Agency, 2014.
- [12] *Czech Aircraft Group. PS-POH-1-1-00, Pilot's Operating Handbook: PS-28 Cruiser*. 1., Czech Aircraft Group, 2020
- [13] *Czech Aircraft Group. PS-ANA-10-15, Hmotový rozbor: PS-28 Cruiser*. 1., Czech Aircraft Group, 2021
- [14] *MAINTENANCE MANUAL: PS-28 Cruiser: CR-MM-1-0-00*. 16. Kunovice: Czech sport aircraft, 2016.
- [15] *Certification Specifications for Very Light Aeroplanes: CS-VLA*. 1. European Aviation Safety Agency, 2009.
- [16] *Standard Specification for Design and Performance of a Light Sport Airplane: F2245-12d*. 1. United States: ASTM International, 2016.
- [17] *Protokol o zkoušce: P13/2020*. 1. Brno: Letecký ústav, Vysoké učení technické v Brně, 2020.
- [18] PAZMANY, Ladislao. *Landing gear design for light aircraft: Volume I*. 1. San Diego: Pazmany Aircraft Corporation, 1986.

- [19] *PS-28 Cruiser nose landing gear Stress Analysis based on CS-LSA 5.8.1.1-3, 5.8.1.7 requirements: S-Z-0018-REP*. 3. Czech Sport Aircraft, 2001.
- [20] 2024-T6 Aluminum. *Makeitfrom.com* [online]. Makeitfrom.com, 2021 [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://www.makeitfrom.com/material-properties/2024-T6-Aluminum>
- [21] 2024-T3 Aluminum. *Makeitfrom.com* [online]. Makeitfrom.com, 2021 [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://www.makeitfrom.com/material-properties/2024-T6-Aluminum>
- [22] SKLOTEXTITOVÉ DESKY. *LABARA s.r.o.* [online]. Velká Bíteš: LABARA, 2021, 2021 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://www.labara.cz/cs/izolanty/pevne/desky/146-sklotextitove-desky>
- [23] *KLUZNÁ LOŽISKA*. 1. Most: Target Plus s.r.o, 2021.

## ZOZNAM SKRATIEK A OZNAČENÍ

Označenie	Jednotka	Názov
$\alpha$	[°]	Uhol prednej podvozkovej nohy s podložkou
$\alpha$	[°]	Uhol zastavenia hlavnej podvozkovej nohy s podložkou
$a_0$	[m]	Vzdialenosť prednej podvozkovej nohy od ťažiska
$a_z$	[m]	Vzdialenosť prednej podvozkovej nohy od ťažiska (stlačenie)
$a'$	[m]	Modifikovaná vzdialenosť prednej podvozkovej nohy od ťažiska
$b_0$	[m]	Vzdialenosť hlavnej podvozkovej nohy od ťažiska
$b_z$	[m]	Vzdialenosť hlavnej podvozkovej nohy od ťažiska (stlačenie)
$b'$	[m]	Modifikovaná vzdialenosť hlavnej podvozkovej nohy od ťažiska
$c_0$	[m]	Rázvor
$c_z$	[m]	Rázvor (stlačenie)
$d'$	[m]	Modifikovaný rázvor
$E_k$	[J]	Kinetická energia
$E_p$	[J]	Potenciálna energia
$F_N$	[N]	Normálová sila
$F_T$	[N]	Posúvajúca sila
$F_{zt}$	[N]	Zvislá sila v ťažisku
$F_{ht}$	[N]	Horizontálna sila v ťažisku
$F_{zh}$	[N]	Zvislá sila na hlavnej podvozkovej nohe
$F_{hh}$	[N]	Horizontálna sila na hlavnej podvozkovej nohe
$F_{bh}$	[N]	Bočná sila na hlavnej podvozkovej nohe
$F_{zp}$	[N]	Zvislá sila na prednej podvozkovej nohe
$F_{hp}$	[N]	Horizontálna sila na prednej podvozkovej nohe
$F_{bp}$	[N]	Bočná sila na prednej podvozkovej nohe
$F_{sp}$	[N]	Statická sila na prednom podvozku
$F_{rm}$	[N]	Sila v mieste uchytenia tlmiča
$F_{th}$	[N]	Tečná sila do tlmiča
$F_{nh}$	[N]	Normálová sila do tlmiča
$F_{pu}$	[N]	Dynamická sila v PU elementu
$f$	[N]	Statická sila v PU elementu
$g$	[ms <sup>-2</sup> ]	Gravitačné zrýchlenie
GPS	[–]	Globálny lokalizačný systém
HPN	[–]	Hlavná podvozková noha
$k$	[–]	Koeficient podľa dodatku C CS-VLA
$k_1$	[–]	Koeficient prepočtu
LSA	[–]	Light Sport Aircraft
$L$	[–]	Podiel vztlaku
$l$	[–]	Smernica tlakov v pneumatikách

$M$	$[Nm]$	Moment k ose otáčania
MFD	$[-]$	Multi-function display
$M_{oy}$	$[Nm]$	Ohybový moment osa y
$M_{oz}$	$[Nm]$	Ohybový moment osa z
MKP	$[-]$	Metóda konečných prvkov
$n$	$[-]$	Prevádzkový násobok síl v ťažisku
$n_1$	$[-]$	Násobok od pozemných síl
$p$	$[-]$	Parameter pre výpočet smernice tlaku v pneumatike
PFD	$[-]$	Primary flight display
PPN	$[-]$	Predná podvozková noha
POH	$[-]$	Pilot Operating Handbook – Letová príručka
PU	$[-]$	Polyuretán
SAT	$[-]$	Stredná aerodynamická tetiva
$s$	$[m]$	Statické stlačenie PU elementu
$S$	$[m]$	Plocha prierezu
$s_{pneu}$	$[m]$	Stlačenie pneumatiky
$s_{vt}$	$[m]$	Výsledný posun ťažiska
$s_{vtt}$	$[m]$	Posun ťažiska spôsobený stlačením tlmiča
$s_{tpneu}$	$[m]$	Posun ťažiska spôsobený stlačením pneumatík
$s_{ppneu}$	$[m]$	Stlačenie pneumatiky na PPN
$s_{hpneu}$	$[m]$	Stlačenie pneumatiky na HPN
$s_{vp}$	$[m]$	Celkové stlačenie prednej podvozkovej nohy
$s_{vtp}$	$[m]$	Vertikálny posun osy PPN spôsobený prepružením tlmiča
$s_{vh}$	$[m]$	Celkové stlačenie hlavnej podvozkovej nohy
$s_{vth}$	$[m]$	Vertikálny posun osy spôsobený prepružením tlmiča
VPD	$[-]$	Vodorovná pristávacia dráha
$v_y$	$[ms^{-1}]$	Klesacia rýchlosť
$W$	$[N]$	Tiaž
$W_o$	$[mm^3]$	Modul prierezu v ohybu
$W_K$	$[mm^3]$	Modul odporu
$\eta_t$	$[-]$	Účinnosť tlmiča
$\eta_{pneu}$	$[-]$	Účinnosť pneumatiky
$\sigma_N$	$[MPa]$	Normálové napätie od normálovej sily
$\sigma_{oy}$	$[MPa]$	Normálové napätie od ohybového momentu osa y
$\sigma_{oz}$	$[MPa]$	Normálové napätie od ohybového momentu osa z
$\sigma_{red}$	$[MPa]$	Redukované napätie
$\sigma_{char}$	$[MPa]$	Napätie v charakteristickom reze
$\tau_T$	$[MPa]$	Smykové napätie od posúvajúcej sily
$\tau_{M_k}$	$[MPa]$	Smykové napätie od krútiaceho momentu

## **ZOZNAM PRÍLOH**

Príloha A	Hmotnostné konfigurácie
Príloha B	Statické zaťaženie a zaťaženie podľa CS-VLA 725
Príloha C	Zaťaženie CS-VLA 725 ( zahrnuté stlačenie pristávacieho zariadenia)
Príloha D	Materiálové charakteristiky AISI 4130 [19]
Príloha E	MKP analýza HPN
Príloha F	MKP analýza PPN
Príloha G	Výkresová dokumentácia

## Príloha A Letové konfigurácie

		Hmotnosť	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	Centráž
		[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]
	<b>Konfigurácia prázdneho letúnu</b>	<b>393,1</b>	<b>432,3</b>	<b>88</b>	<b>0</b>	<b>28,78%</b>
A	2 piloti (93kg + 93kg) + palivo 20 kg + batožina 0,9 kg (trup)	600,0	508,2	97,2	0	33,83%
B	2 piloti (93kg + 93kg) + palivo 0 kg + batožina 0,9 kg (trup)	580,0	519,5	101,6	0	34,59%
C	2 piloti (93kg + 93kg) + palivo 20 kg + batožina 0,9 kg (krídlo)	600,0	507,1	97,0	0	33,76%
D	2 piloti (93kg + 93kg) + palivo 0 kg + batožina 0,9 kg (krídlo)	580,0	518,4	101,4	0	34,51%
E	2 piloti (93kg + 93kg) + palivo 20,9 kg	600,0	506,5	97,0	0	33,72%
F	2 piloti (93kg + 93kg) + palivo 0 kg	579,1	518,3	101,6	0	34,51%
G	2 piloti (86kg + 86kg) + palivo 20 kg + batožina 14,9 kg (trup)	600,0	522,4	97,2	0	34,78%
I	2 piloti (86kg + 86kg) + palivo 20 kg + batožina 14,9 kg (krídlo)	600,0	504,8	92,9	0	33,61%
J	2 piloti (86kg + 86kg) + palivo 0 kg + batožina 14,9 kg (krídlo)	580,0	51600,0	97,1	0	34,35%
K	2 piloti (86kg + 86kg) + palivo 34,9 kg	600,0	494,3	93,2	0	32,91%
L	2 piloti (86kg + 86kg) + palivo 0 kg	565,1	513,8	1,9	0	34,21%
M	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 20 kg + batožina 18 kg (trup) + batožina 20 kg (krídlo)	561,1	509,9	88,7	0	33,95%
N	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 0 kg + batožina 18 kg (trup) + batožina 20 kg (krídlo)	541,1	522,1	93,1	0	34,76%
O	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 20 kg + batožina 18 kg (trup)	541,1	506,6	93,6	0	33,73%
P	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 0 kg + batožina 18 kg (trup)	521,1	519,1	98,4	0	34,56%
R	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 20 kg + batožina 20 kg (krídlo)	543,1	483,4	87,3	0	32,18%
S	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 0 kg + batožina 20 kg (krídlo)	523,1	495,0	91,8	0	32,96%
T	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 82 kg + batožina 14,9kg (trup)	600,0	468,7	80,6	0	31,21%
U	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 0 kg + batožina 14,9 kg (trup)	518,0	514,4	98,2	0	34,25%
V	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 82 kg + batožina 14,9 kg (krídlo)	600,0	451,0	76,2	0	30,03%
W	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 0 kg + batožina 14,9 kg (krídlo)	518,0	494,0	93,2	0	32,89%



		Hmotnosť	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	Centráž
		[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]
X	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 82kg	585,1	447,3	79,3	0	29,78%
Y	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 0 kg	503,1	490,8	97,3	0	32,68%
Z	1 pilot (115kg) + palivo 20 kg + batožina 18 kg (trup) + batožina 20 kg (krídlo)	566,1	511,6	89,0	71,1	34,06%
AA	1 pilot (115kg) + palivo 0 kg + batožina 18 kg (trup) + batožina 20 kg (krídlo)	546,1	523,7	93,4	73,7	34,87%
AB	1 pilot (115kg) + palivo 20 kg + batožina 18 kg (trup)	546,1	508,3	94,0	73,7	33,84%
AC	1 pilot (115kg) + palivo 0 kg + batožina 18 kg (trup)	526,1	520,8	98,7	76,5	34,67%
AD	1 pilot (115kg) + palivo 20 kg + batožina 20 kg (krídlo)	548,1	485,4	87,4	73,4	32,32%
AE	1 pilot (115kg) + palivo 0 kg + batožina 20 kg (krídlo)	528,1	496,9	92,2	76,2	33,08%
AF	1 pilot (115kg) + palivo 82 kg + batožina 9,9 kg (trup)	600,0	463,6	80,6	67,1	30,87%
AG	1 pilot (115kg) + palivo 0 kg + batožina 9,9 kg (trup)	518,0	508,5	98,2	77,7	33,85%
AH	1 pilot (115kg) + palivo 82 kg + batožina 9,9 kg (krídlo)	600,0	451,9	77,7	67,1	30,09%
AJ	1 pilot (115kg) + palivo 0 kg + batožina 9,9 kg (krídlo)	518,0	493,9	94,9	77,7	32,88%
AI	1 pilot (115kg) + palivo 82kg	590,1	449,4	79,8	68,2	29,92%
AK	1 pilot (115kg) + palivo 0 kg	508,1	492,9	97,6	79,2	32,82%
AL	1 pilot (93kg) + palivo 20 kg + batožina 18 kg (trup) + batožina 20 kg (krídlo)	544,1	504,0	87,4	59,8	33,56%
AM	1 pilot (93kg) + palivo 0 kg + batožina 18 kg (trup) + batožina 20 kg (krídlo)	524,1	516,3	91,9	62,1	34,37%
AN	1 pilot (93kg) + palivo 20 kg + batožina 18 kg (trup)	524,1	5,3	92,4	62,1	33,31%
AO	1 pilot (93kg) + palivo 0 kg + batožina 18 kg (trup)	504,1	513,0	97,3	64,6	34,15%
AP	1 pilot (93kg) + palivo 20 kg + batožina 20 kg (krídlo)	526,1	476,4	85,9	61,9	31,72%
AR	1 pilot (93kg) + palivo 0 kg + batožina 20 kg (krídlo)	506,1	488,1	90,5	64,3	32,50%
AS	1 pilot (93kg) + palivo 82 kg + batožina 18 kg (trup)	586,1	466,4	79,4	55,5	31,05%
AT	1 pilot (93kg) + palivo 82 kg + batožina 20kg (krídlo)	588,1	445,1	73,6	55,4	29,63%
AU	1 pilot (93kg) + palivo 82kg	568,1	439,7	77,8	57,3	29,27%
AW	1 pilot (93kg) + palivo 0 kg	486,1	483,5	96,1	67,0	32,19%
AY	1 pilot (86kg) + palivo 20 kg + batožina 18 kg (trup) + batožina 20 kg (krídlo)	537,1	501,4	86,8	5600,0	33,38%

		<b>Hmotnosť</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>z</b>	<b>Centráž</b>
		<b>[kg]</b>	<b>[mm]</b>	<b>[mm]</b>	<b>[mm]</b>	<b>[%]</b>
AZ	1 pilot (86kg) + palivo 0 kg + batožina 18 kg (trup) + batožina 20 kg (krídlo)	517,1	513,8	91,4	58,2	34,21%
BA	1 pilot (86kg) + palivo 20 kg + batožina 18 kg (trup)	517,1	497,6	91,9	58,2	33,13%
BB	1 pilot (86kg) + palivo 20 kg + batožina 20 kg (krídlo)	519,1	473,4	85,3	58,0	31,52%
BC	1 pilot (86kg) + palivo 0 kg + batožina 20 kg (krídlo)	499,1	485,1	90,0	60,3	32,30%
BD	1 pilot (86kg) + palivo 82 kg + batožina 18 kg (trup)	579,1	463,6	78,8	52,0	30,87%
BE	1 pilot (86kg) + palivo 0 kg + batožina 18 kg (trup)	497,1	510,4	96,9	60,6	33,98%
BF	1 pilot (86kg) + palivo 82 kg + batožina 20 kg (krídlo)	581,1	442,1	72,9	51,8	29,43%
BG	1 pilot (86kg) + palivo 82kg	561,1	436,1	77,1	53,6	29,03%
BH	1 pilot (86kg) + palivo 0 kg	479,1	480,3	95,6	62,8	31,98%
BI	1 pilot (55kg) + palivo 20 kg + batožina 18 kg (trup) + batožina 20 kg (krídlo)	506,1	489,2	84,2	38,0	32,57%
BK	1 pilot (55kg) + palivo 0 kg + batožina 18 kg (trup) + batožina 20 kg (krídlo)	486,1	502,0	88,9	39,6	33,42%
BL	1 pilot (55kg) + palivo 20 kg + batožina 18 kg (trup)	486,1	484,7	89,5	39,6	32,27%
BM	1 pilot (55kg) + palivo 0 kg + batožina 18 kg (trup)	466,1	497,8	94,6	41,3	33,14%
BN	1 pilot (55kg) + palivo 20 kg + batožina 20 kg (krídlo)	488,1	459,0	82,5	39,4	30,56%
BO	1 pilot (55kg) + palivo 0 kg + batožina 20 kg (krídlo)	468,1	470,9	87,3	41,1	31,35%
BP	1 pilot (55kg) + palivo 82 kg + batožina 18 kg (trup)	548,1	450,2	75,9	35,1	29,97%
BR	1 pilot (55kg) + palivo 82 kg + batožina 20 kg (krídlo)	550,1	427,5	69,7	35,0	28,46%
BS	1 pilot (55kg) + palivo 82kg	530,1	421,0	74,0	36,3	28,03%
BT	1 pilot (55kg) + palivo 0 kg	448,1	465,1	93,2	43,0	30,97%

## Príloha B Statické zat'azenie a zat'azenie podľa CS-VLA 725

		CS-VLA 725			Stat. zat'azenie	
		Hmotnosť	PPN	HPN	PPN	HPN
		[kg]	[N]	[N]	[mm]	[%]
	<b>Konfigurácia prázdneho letúnu</b>	<b>393,1</b>	<b>1451,0</b>	<b>1715,1</b>	<b>938,6</b>	<b>1458,9</b>
A	2 piloti (93kg + 93kg) + palivo 20 kg + batožina 0,9 kg (trup)	600,0	1890,9	2788,7	1099,7	2393,1
B	2 piloti (93kg + 93kg) + palivo 0 kg + batožina 0,9 kg (trup)	580,0	1789,2	2719,2	1020,3	2334,8
C	2 piloti (93kg + 93kg) + palivo 20 kg + batožina 0,9 kg (krídlo)	600,0	1895,0	2786,4	1104,1	2391,0
D	2 piloti (93kg + 93kg) + palivo 0 kg + batožina 0,9 kg (krídlo)	580,0	1793,2	2717,1	1024,4	2332,7
E	2 piloti (93kg + 93kg) + palivo 20,9 kg	600,0	1897,3	2785,3	1106,4	2389,8
F	2 piloti (93kg + 93kg) + palivo 0 kg	579,1	1791,0	2712,7	1023,2	2328,9
G	2 piloti (86kg + 86kg) + palivo 20 kg + batožina 14,9 kg (trup)	600,0	1835,2	2816,5	1044,1	2421,0
I	2 piloti (86kg + 86kg) + palivo 20 kg + batožina 14,9 kg (krídlo)	600,0	1900,0	2779,9	1113,1	2386,5
J	2 piloti (86kg + 86kg) + palivo 0 kg + batožina 14,9 kg (krídlo)	580,0	1798,2	2710,5	1033,5	2328,1
K	2 piloti (86kg + 86kg) + palivo 34,9 kg	600,0	1941,4	2759,5	1154,2	2365,9
L	2 piloti (86kg + 86kg) + palivo 0 kg	565,1	1763,6	2638,5	1015,1	2264,3
M	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 20 kg + batožina 18 kg (trup) + batožina 20 kg (krídlo)	561,1	1754,3	2607,1	1022,2	2241,1
N	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 0 kg + batožina 18 kg (trup) + batožina 20 kg (krídlo)	541,1	1652,5	2537,7	942,6	2182,8
O	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 20 kg + batožina 18 kg (trup)	541,1	1707,7	2510,5	997,4	2155,4
P	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 0 kg + batožina 18 kg (trup)	521,1	1606,1	2441,0	918,0	2097,0
R	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 20 kg + batožina 20 kg (krídlo)	543,1	1790,8	2475,8	1083,4	2122,2
S	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 0 kg + batožina 20 kg (krídlo)	523,1	1689,0	2406,4	1003,9	2063,9
T	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 82 kg + batožina 14,9kg (trup)	600,0	2029,4	2703,1	1254,6	2315,7
U	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 0 kg + batožina 14,9 kg (trup)	518,0	1612,3	2418,5	928,5	2076,6
V	<b>2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 82 kg + batožina 14,9 kg (krídlo)</b>	<b>600,0</b>	<b>2094,5</b>	<b>2666,3</b>	<b>1324,0</b>	<b>2281,0</b>

		CS-VLA 725			Stat. zat'azenie	
		Hmotnosť	PPN	HPN	PPN	HPN
		[kg]	[N]	[N]	[N]	[N]
W	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 0 kg + batožina 14,9 kg (krídlo)	518,0	1677,1	2381,9	997,5	2042,0
X	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 82kg	585,1	2059,6	2594,5	1305,2	2 217,3
Y	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 0 kg	503,1	1642,8	2309,8	979,3	1 978,0
Z	1 pilot (115kg) + palivo 20 kg + batožina 18 kg (trup) + batožina 20 kg (krídlo)	566,1	1763,9	2633,6	1025,0	2 264,2
AA	1 pilot (115kg) + palivo 0 kg + batožina 18 kg (trup) + batožina 20 kg (krídlo)	546,1	1662,3	2564,1	945,6	2 205,8
AB	1 pilot (115kg) + palivo 20 kg + batožina 18 kg (trup)	546,1	1717,8	2536,9	1000,6	2 178,3
AC	1 pilot (115kg) + palivo 0 kg + batožina 18 kg (trup)	526,1	1616,0	2467,5	921,0	2 120,0
AD	1 pilot (115kg) + palivo 20 kg + batožina 20 kg (krídlo)	548,1	1800,2	2502,3	1086,3	2 145,3
AE	1 pilot (115kg) + palivo 0 kg + batožina 20 kg (krídlo)	528,1	1699,0	2432,9	1006,9	2 086,9
AF	1 pilot (115kg) + palivo 82 kg + batožina 9,9 kg (trup)	600,0	2049,4	2693,1	1274,6	2 305,7
AG	1 pilot (115kg) + palivo 0 kg + batožina 9,9 kg (trup)	518,0	1632,3	2408,5	948,4	2 066,6
AH	1 pilot (115kg) + palivo 82 kg + batožina 9,9 kg (krídlo)	600,0	2092,4	2668,8	1320,4	2 282,8
AJ	1 pilot (115kg) + palivo 0 kg + batožina 9,9 kg (krídlo)	518,0	1678,9	2382,4	997,8	2 041,9
AI	1 pilot (115kg) + palivo 82kg	590,1	2069,6	2620,9	1308,3	2 240,3
AK	1 pilot (115kg) + palivo 0 kg	508,1	1652,4	2336,3	982,1	2 001,2
AL	1 pilot (93kg) + palivo 20 kg + batožina 18 kg (trup) + batožina 20 kg (krídlo)	544,1	1720,9	2517,1	1012,2	2 162,7
AM	1 pilot (93kg) + palivo 0 kg + batožina 18 kg (trup) + batožina 20 kg (krídlo)	524,1	1619,4	2447,5	932,9	2 104,3
AN	1 pilot (93kg) + palivo 20 kg + batožina 18 kg (trup)	524,1	1674,6	2420,3	987,7	2 076,9
AO	1 pilot (93kg) + palivo 0 kg + batožina 18 kg (trup)	504,1	1572,9	2350,9	908,2	2 018,5
AP	1 pilot (93kg) + palivo 20 kg + batožina 20 kg (krídlo)	526,1	1757,6	2385,7	1073,6	2 043,7
AR	1 pilot (93kg) + palivo 0 kg + batožina 20 kg (krídlo)	506,1	1655,9	2316,3	994,1	1 985,4

			CS-VLA 725		Stat. zat'azenie		
			Hmotnosť	PPN	HPN	PPN	HPN
			[kg]	[N]	[N]	[N]	[N]
AS	1 pilot (93kg) + palivo 82 kg + batožina 18 kg (trup)	586,1	1990,1	2635,5	1234,3	2257,7	
AT	1 pilot (93kg) + palivo 82 kg + batožina 20kg (krídlo)	588,1	2073,1	2600,8	1320,4	2224,4	
AU	1 pilot (93kg) + palivo 82kg	568,1	2026,6	2504,3	1295,5	2138,8	
AW	1 pilot (93kg) + palivo 0 kg	486,1	1609,5	2219,6	969,4	1899,6	
AY	1 pilot (86kg) + palivo 20 kg + batožina 18 kg (trup) + batožina 20 kg (krídlo)	537,1	1707,4	2479,8	1008,3	2130,3	
AZ	1 pilot (86kg) + palivo 0 kg + batožina 18 kg (trup) + batožina 20 kg (krídlo)	517,1	1605,8	2410,4	928,9	2071,9	
BA	1 pilot (86kg) + palivo 20 kg + batožina 18 kg (trup)	517,1	1660,9	2383,2	983,6	2044,6	
BB	1 pilot (86kg) + palivo 20 kg + batožina 20 kg (krídlo)	519,1	1743,8	2348,6	1069,5	2011,4	
BC	1 pilot (86kg) + palivo 0 kg + batožina 20 kg (krídlo)	499,1	1642,3	2279,1	990,1	1953,0	
BD	1 pilot (86kg) + palivo 82 kg + batožina 18 kg (trup)	579,1	1976,3	2598,5	1230,2	2225,4	
BE	1 pilot (86kg) + palivo 0 kg + batožina 18 kg (trup)	497,1	1559,2	2313,9	904,0	1986,3	
BF	1 pilot (86kg) + palivo 82 kg + batožina 20 kg (krídlo)	581,1	2059,2	2563,8	1316,1	2192,3	
BG	1 pilot (86kg) + palivo 82kg	561,1	2014,1	2466,5	1292,8	2105,8	
BH	1 pilot (86kg) + palivo 0 kg	479,1	1595,9	2182,5	965,5	1867,2	
BI	1 pilot (55kg) + palivo 20 kg + batožina 18 kg (trup) + batožina 20 kg (krídlo)	506,1	1647,0	2315,5	990,5	1987,2	
BK	1 pilot (55kg) + palivo 0 kg + batožina 18 kg (trup) + batožina 20 kg (krídlo)	486,1	1545,0	2246,2	910,7	1929,0	
BL	1 pilot (55kg) + palivo 20 kg + batožina 18 kg (trup)	486,1	1600,4	2218,9	965,6	1901,5	
BM	1 pilot (55kg) + palivo 0 kg + batožina 18 kg (trup)	466,1	1498,6	2149,5	886,0	1843,2	
BN	1 pilot (55kg) + palivo 20 kg + batožina 20 kg (krídlo)	488,1	1683,4	2184,3	1051,5	1868,4	
BO	1 pilot (55kg) + palivo 0 kg + batožina 20 kg (krídlo)	468,1	1581,7	2114,8	972,1	1810,0	
BP	1 pilot (55kg) + palivo 82 kg + batožina 18 kg (trup)	548,1	1915,9	2434,1	1212,3	2082,3	

		CS-VLA 725			Stat. zaťaženie	
		Hmotnosť	PPN	HPN	PPN	HPN
		[kg]	[N]	[N]	[N]	[N]
BR	1 pilot (55kg) + palivo 82 kg + batožina 20 kg (krídlo)	550,1	1998,9	2399,4	1298,3	2049,1
BS	1 pilot (55kg) + palivo 82kg	530,1	1952,5	2302,8	1273,6	1963,3
BT	1 pilot (55kg) + palivo 0 kg	448,1	1535,4	2018,1	947,5	1724,2

**Príloha C Zat'azenie CS-VLA 725 ( zahrnuté stlačenie pristávacieho zariadenia)**

		<b>Hmotnosť</b>	<b>PPN</b>
		<b>[kg]</b>	<b>[N]</b>
T	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 82 kg + batožina 14,9kg (trup)	600,0	1865,0
V	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 82 kg + batožina 14,9 kg (krídlo)	600,0	<b>1930,9</b>
X	2 piloti (55kg + 55kg) + palivo 82kg	585,1	1900,9
AF	1 pilot (115kg) + palivo 82 kg + batožina 9,9 kg (trup)	600,0	1885,0
AI	1 pilot (115kg) + palivo 82kg	590,1	1909,1
AT	1 pilot (93kg) + palivo 82 kg + batožina 20kg (krídlo)	588,1	1913,6
BF	1 pilot (86kg) + palivo 82 kg + batožina 20 kg (krídlo)	581,1	1902,3

## Príloha D Materiálové charakteristiky AISI 4130 [19]

Aero Vodochody a.s.

Číslo AI0007CZ

Výběr kovových materiálů

Materiál: Ocel 4130 Plech, desky, tyče, trubky, výkovky	Stát: USA	Specifikace: AMS; MIL-HDBK-5G; MIL-S-18729; MIL-H-6875 G	4130						
Nahrzuje materiál: Viz „Náhrady materiálů“.									
Chemické složení									
Obsah[%]	C	Mn	Si	Cr	Mo	P	S	Ni	Cu
Min.	0,28	0,40	0,15	0,80	0,15	-	-	-	-
Max.	0,33	0,60	0,35	1,10	0,25	0,025	0,025	0,25	0,35

Plech  
Desky  
Tyče  
Trubky  
Výkovky

Plech  
Desky  
Tyče  
Trubky  
Výkovky

HODNOTY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ ZARUČOVANÉ DODAVATELEM POLOTOVARŮ A PŘEDEPISOVANÉ PRO VÝROBU							
Způsob předepisování do tech. dokumentace	Polotovary	Rozměrové vymezení	Hodnoty mechanických vlastností 1) 2)				
			R <sub>m</sub> [MPa]	R <sub>p0.2</sub> [MPa]	A [%]	Z [%] 3)	Tvrdost
Žitáno na měkko	Plech Desky	Bez omezení	Max. 540	-	5)	-	max. 85 HRB
Zuštětění na 670 ÷ 870 MPa	Trubky Tyče Výkovky	4)	670 - 870	450	5)	57	216 - 279 HV
Zuštětění na 860 ÷ 1000 MPa			860 - 1000	690	5)	55	276 - 325 HV
Zuštětění na 960 ÷ 1100 MPa			960 - 1100	830	5)	53	312 - 354 HV
Zuštětění na 1030 ÷ 1170 MPa			1030 - 1170	910	5)	52	334 - 374 HV
Zuštětění na 1100 ÷ 1240 MPa			1100 - 1240	980	5)	50	354 - 394 HV
Normalizováno	Plech Desky Trubky	do tl. 4,27 mm	655 - 800	517	5)	-	91 - 96 HRB
		4,75 ÷ 38 mm	620 - 770	482	5)	-	88 - 97 HRB

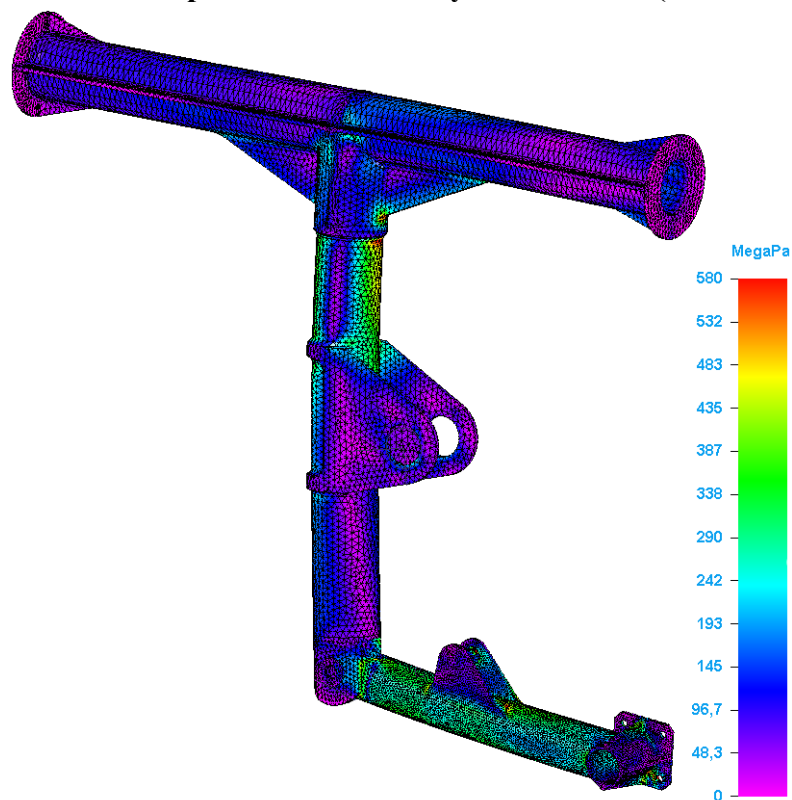
- 1) Pokud není v tabulce uvedeno rozmezí hodnot, pak jednotlivě uvedené hodnoty jsou hodnoty minimální.
- 2) Hodnoty mechanických vlastností platí ve směru: Podélném [ L ] pro trubky, tyče, výkovky.  
Příčném [ LT ] pro plechy, desky.
- 3) Hodnoty kontrakce [ Z ] platí pro materiály tlustší než 10 mm.
- 4) Hodnoty mechanických vlastností platí pro: tyče do Ø 12,5 mm; plechy a desky do tl. 8,5 mm; trubky do tl. stěny 6,0 mm. Tato omezení jsou dána prokalitelností oceli 4130.
- 5) Hodnoty tažnosti se liší podle druhů polotovarů i jejich tloušťky. Konkrétní hodnoty lze nalézt v tabulce informativních hodnot.

**POZOR !** Při předepisování rozměrů hutních polotovarů ( plechů, tyčí, trubek ) je třeba brát v úvahu skutečnost, že polotovary mohou být k dispozici v palcových mírách ( a jejich zlomcích ). Toto je obzvlášť závažné u trubek.

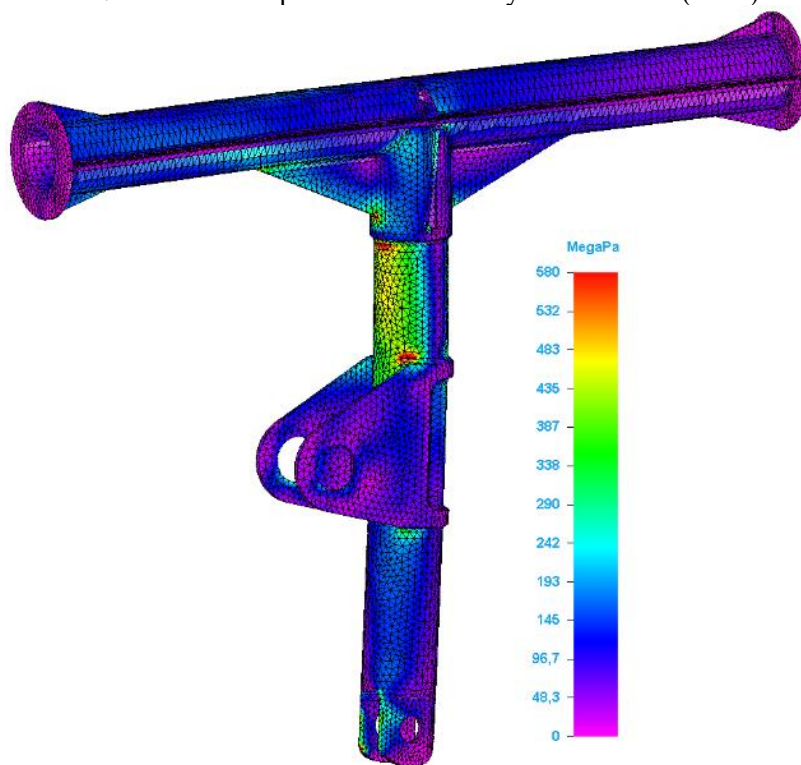


## Príloha E MKP analýza HPN

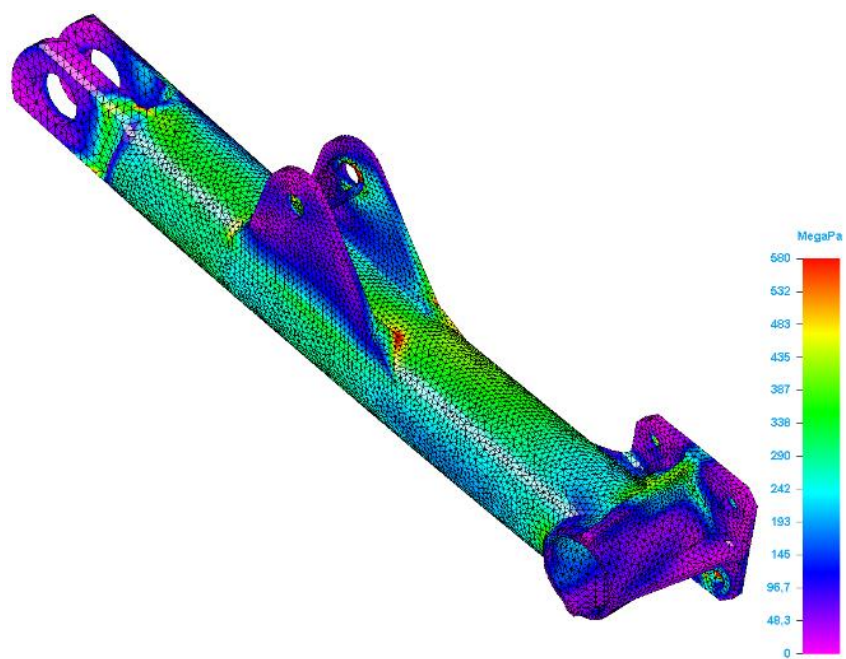
### Príloha E1 Vodorovné pristátie so sklonenými reakciami ( Prevádzkový prípad )



PR. 2 Vodorovné pristátie so sklonenými reakciami (HPN)

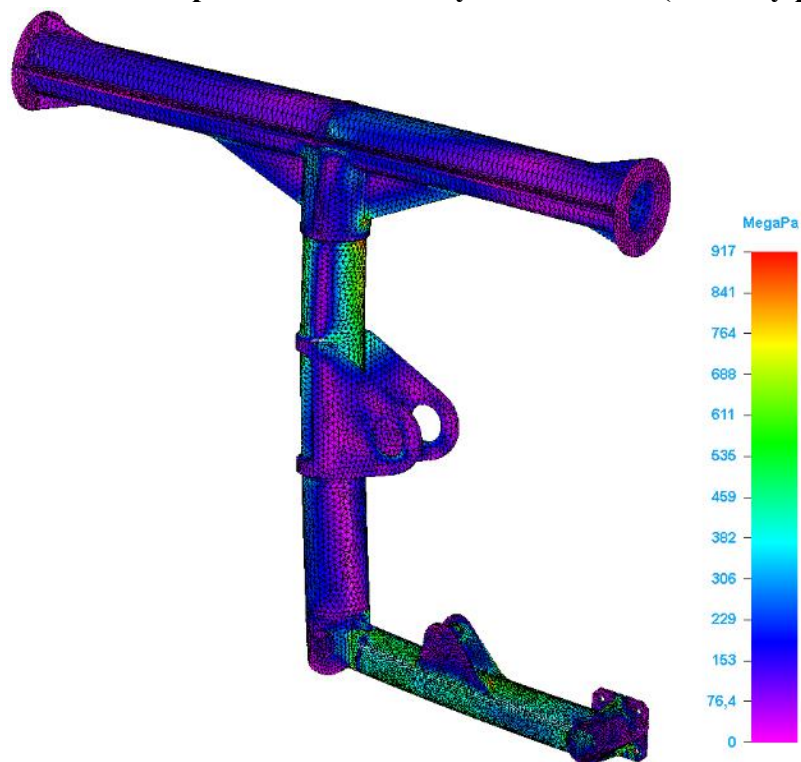


PR. 3 Vodorovné pristátie so sklonenými reakciami – Hlavná trubka HPN

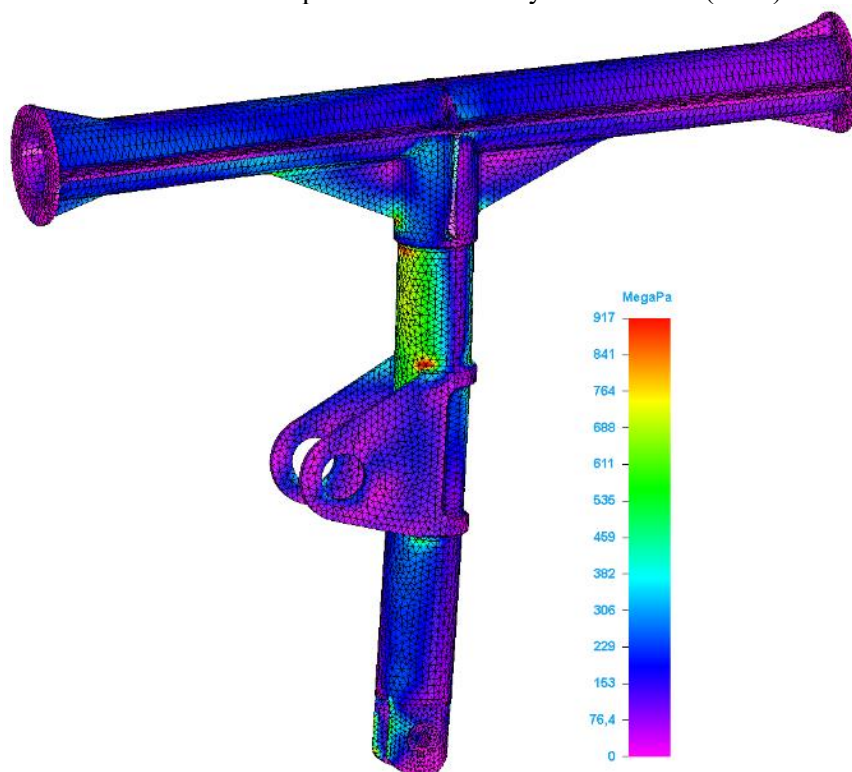


PR. 4 Vodorovné pristátie so sklonenými reakciami - Pohyblivá časť HPN

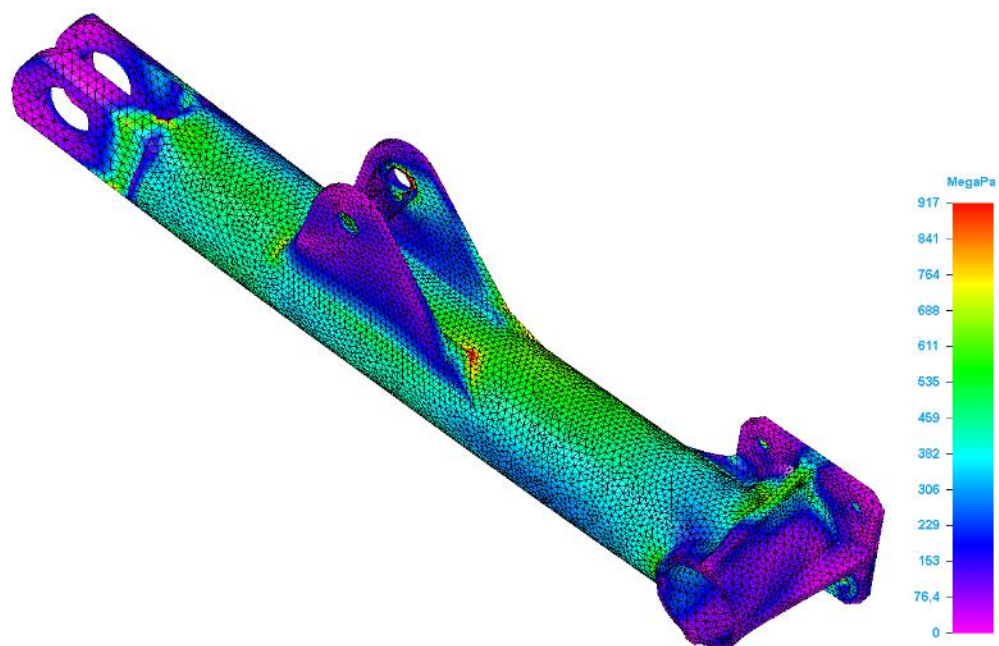
**Príloha E2    Vodorovné pristátie so sklonenými reakciami ( Početný prípad )**



PR. 5 Vodorovné pristátie so sklonenými reakciami (HPN)

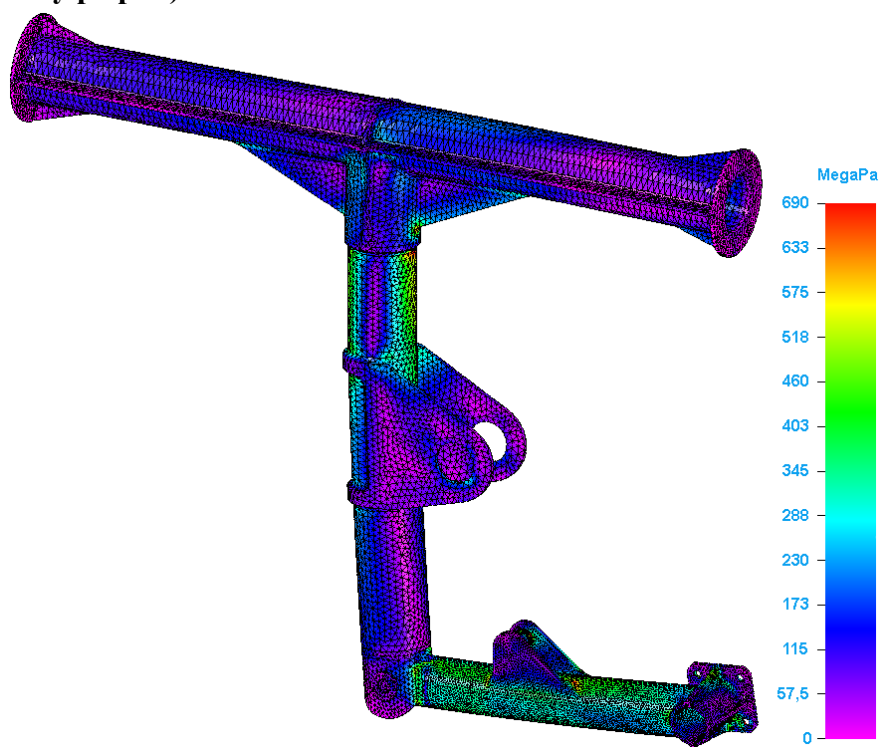


PR. 6 Vodorovné pristátie so sklonenými reakciami – Hlavná trubka HPN

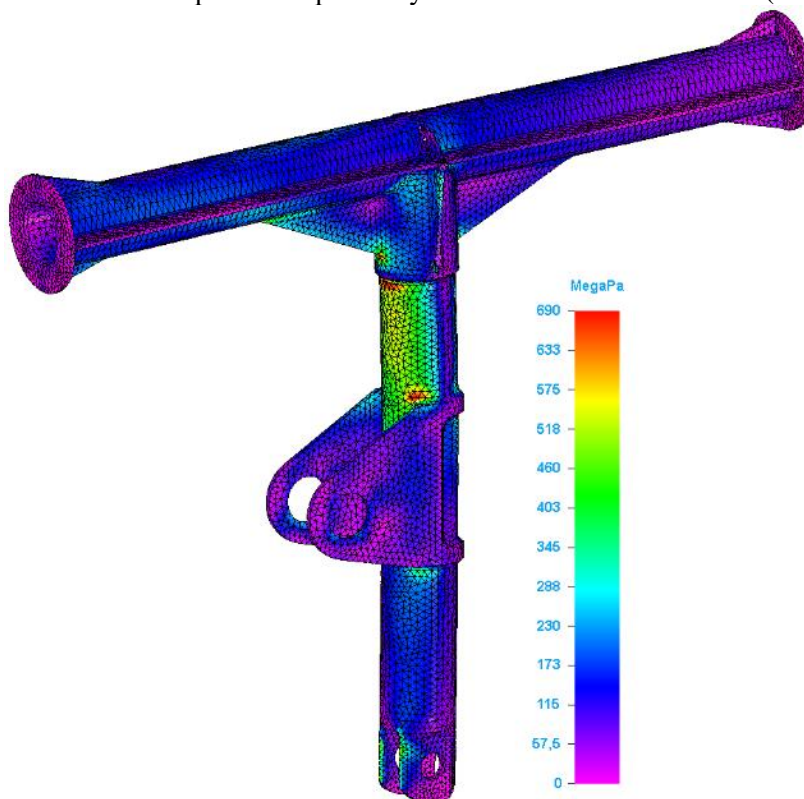


PR. 7 Vodorovné pristátie so sklonenými reakciami - Pohyblivá časť HPN

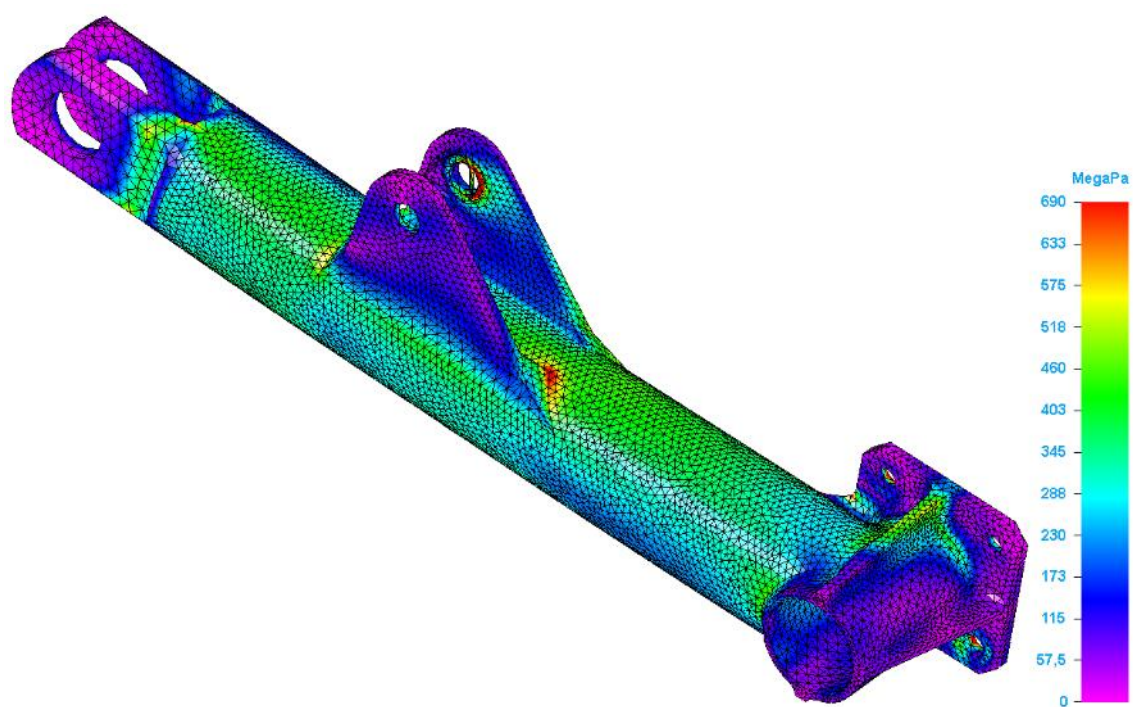
**Príloha E3 Vodorovné pristátie s pried'ovým kolesom tesne nad zemou  
(Prevádzkový prípad)**



PR. 8 Vodorovné pristátie s pried'ovým kolesom tesne nad zemou (HPN)



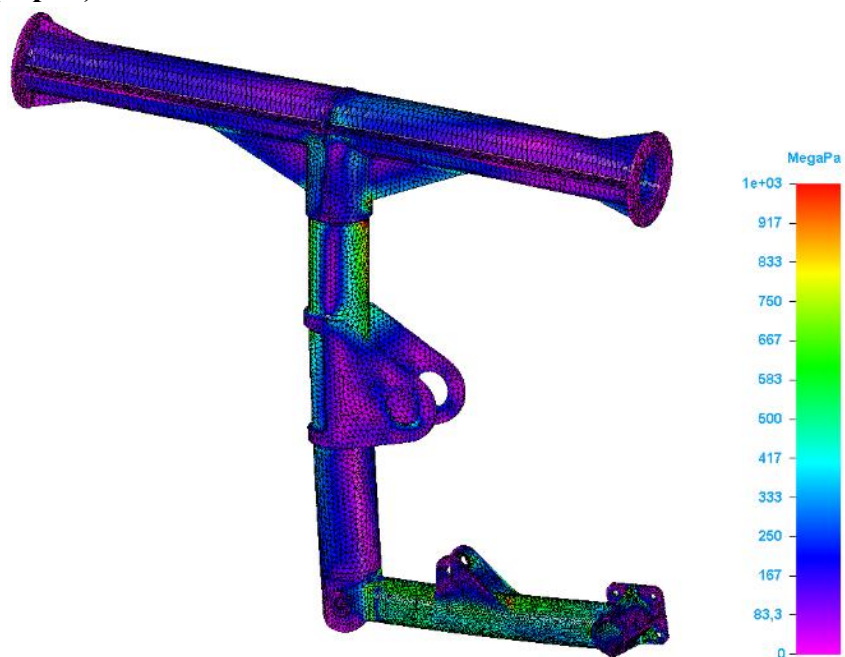
PR. 9 Vodorovné pristátie s pried'ovým kolesom tesne nad zemou – Hlavná trubka HPN



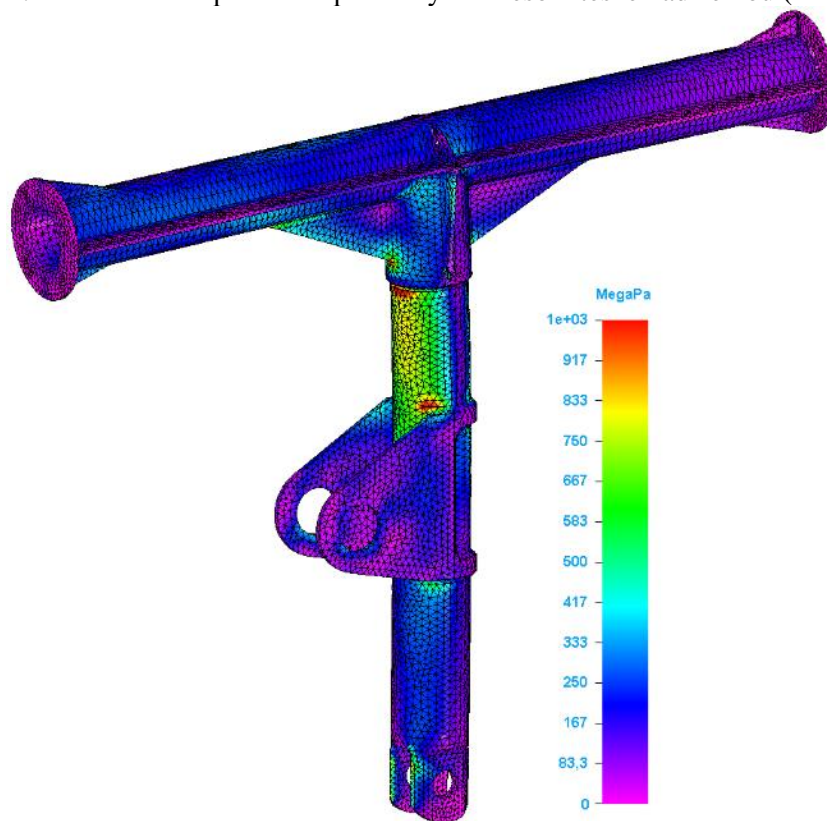
PR. 10 Vodorovné pristátie s pried'ovým kolesom tesne nad zemou - Pohyblivá časť HPN



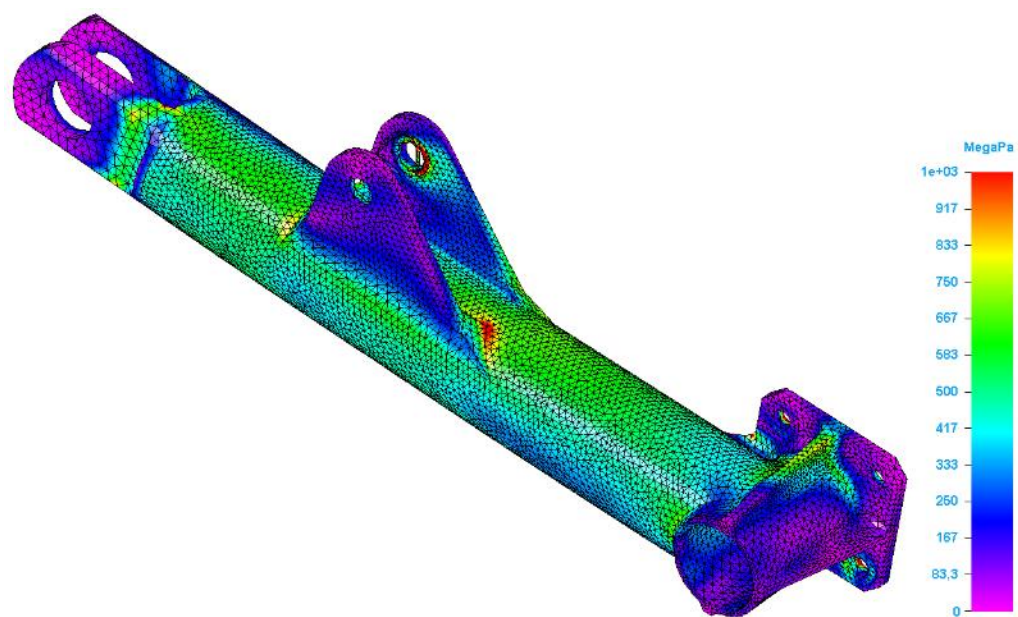
**Príloha E4 Vodorovné pristátie s pried'ovým kolesom tesne nad zemou  
(Početný prípad)**



PR. 11 Vodorovné pristátie s pried'ovým kolesom tesne nad zemou (HPN)



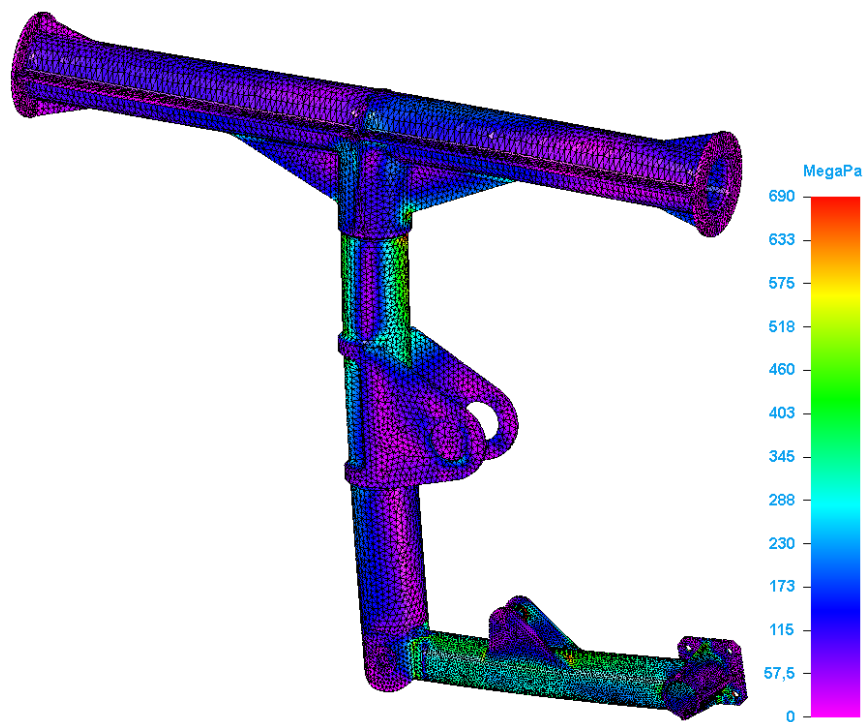
PR. 12 Vodorovné pristátie s pried'ovým kolesom tesne nad zemou – Hlavná trubka HPN



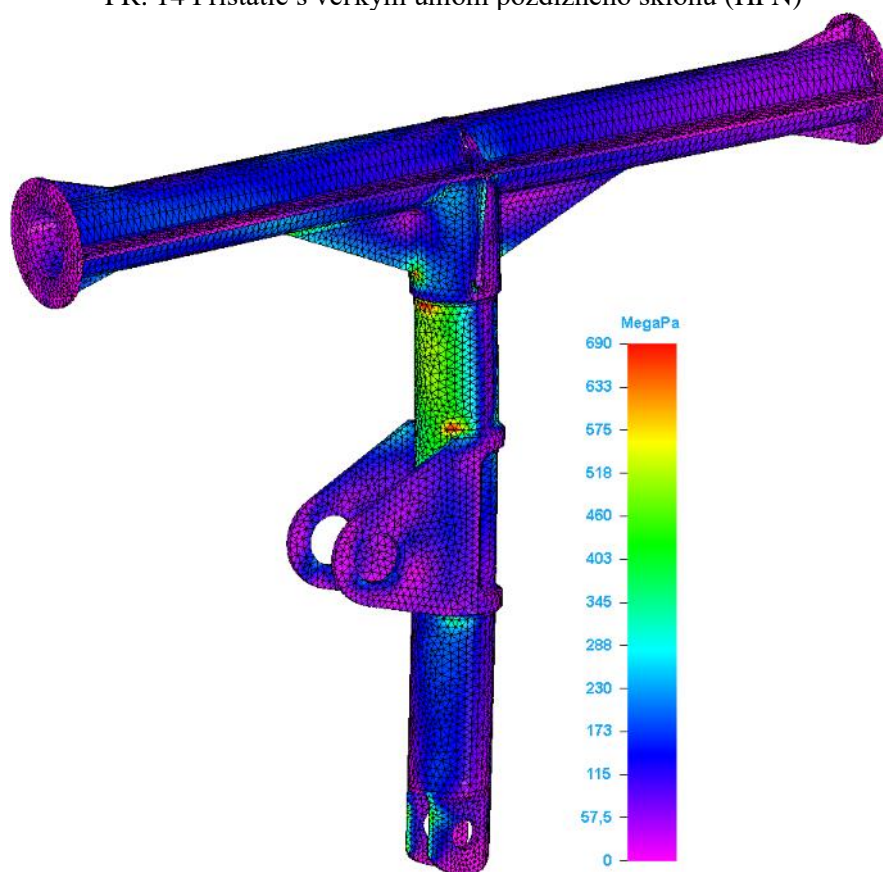
PR. 13 Vodorovné pristátie s pried'ovým kolesom tesne nad zemou - Pohyblivá časť HPN



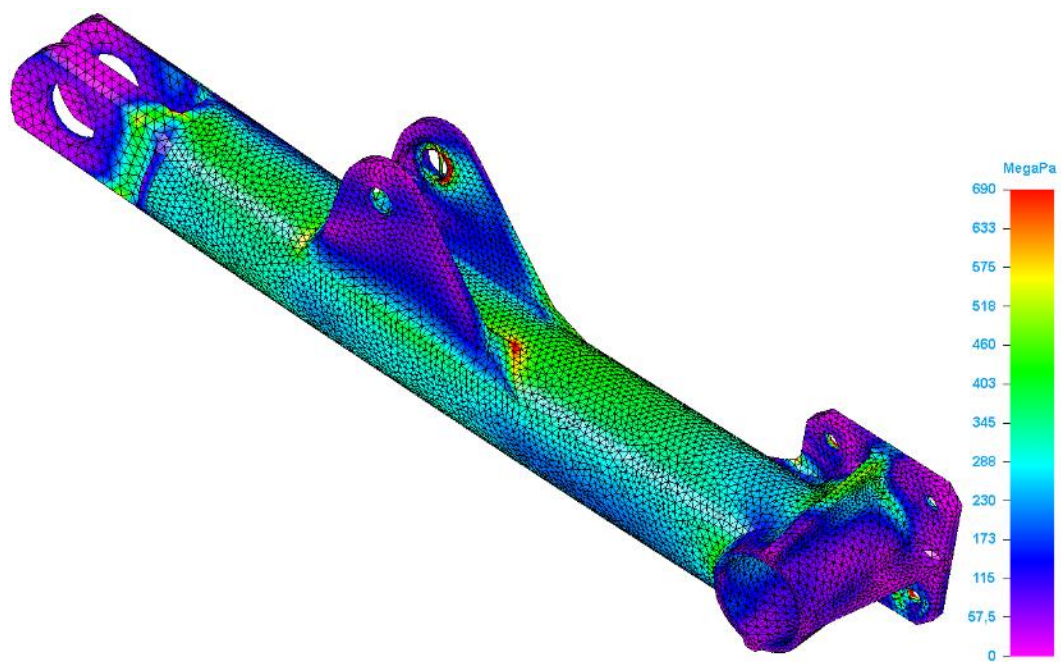
**Príloha E5    Pristátie s veľkým uhlom pozdĺžneho sklonu ( Prevádzkový prípad )**



PR. 14 Pristátie s veľkým uhlom pozdĺžneho sklonu (HPN)

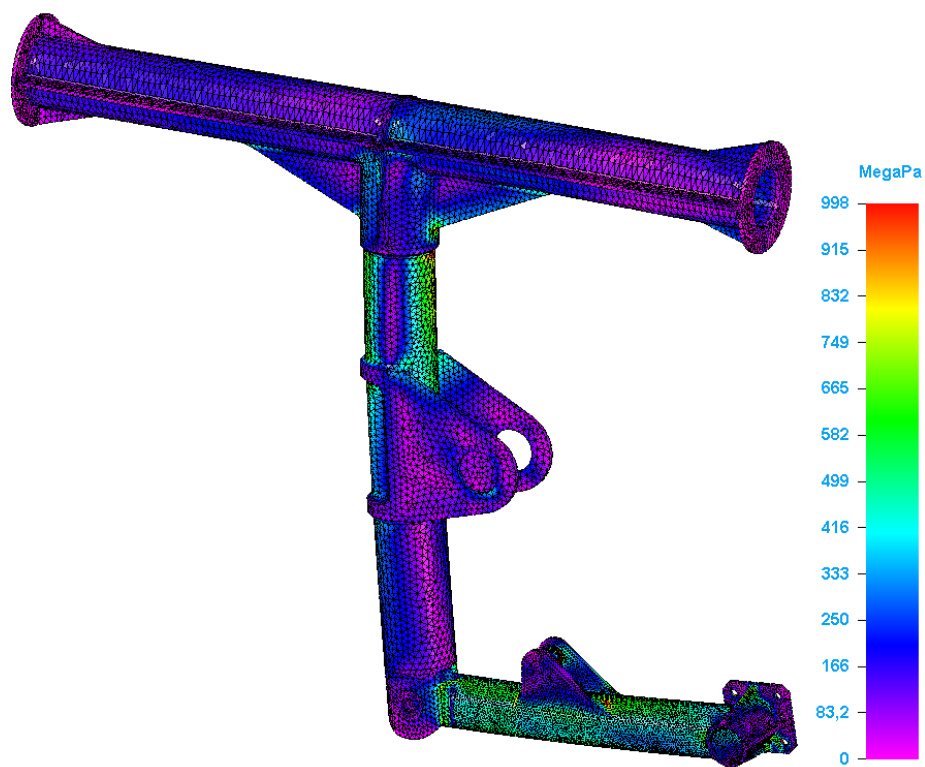


PR. 15 Pristátie s veľkým uhlom pozdĺžneho sklonu – Hlavná trubka HPN

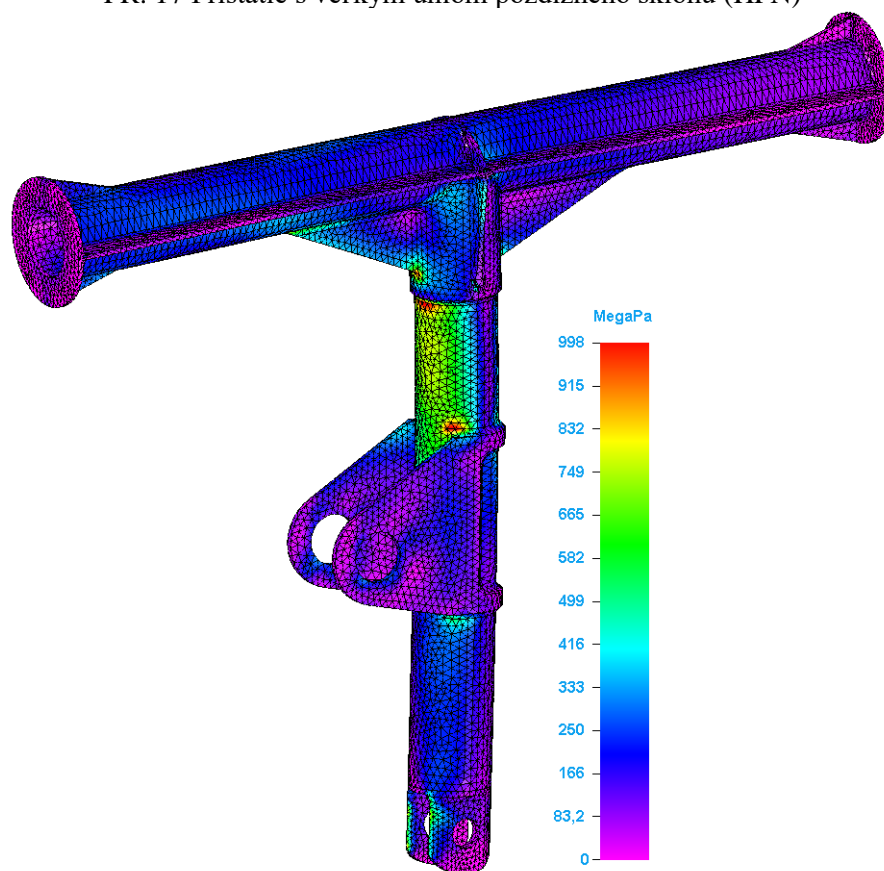


PR. 16 Pristátie s veľkým uhlom pozdĺžneho sklonu - Pohyblivá časť HPN

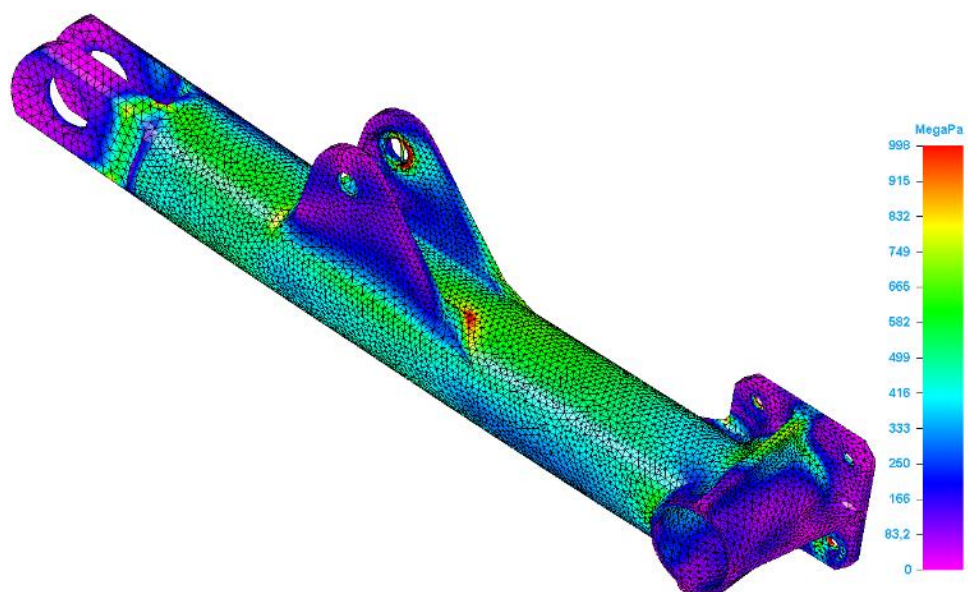
**Príloha E6    Pristátie s veľkým uhlom pozdĺžneho sklonu ( Početný prípad )**



PR. 17 Pristátie s veľkým uhlom pozdĺžneho sklonu (HPN)

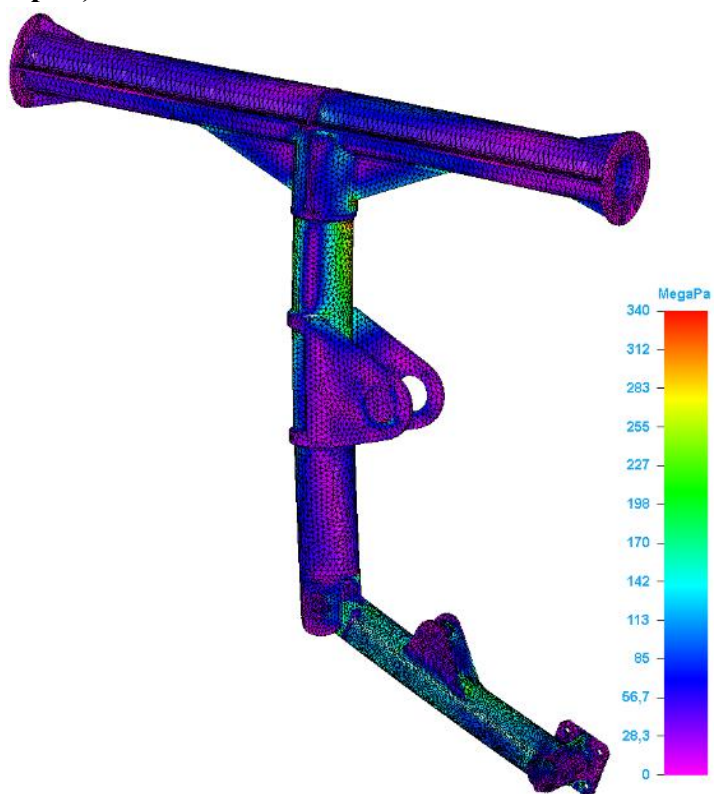


PR. 18 Pristátie s veľkým uhlom pozdĺžneho sklonu – Hlavná trubka HPN

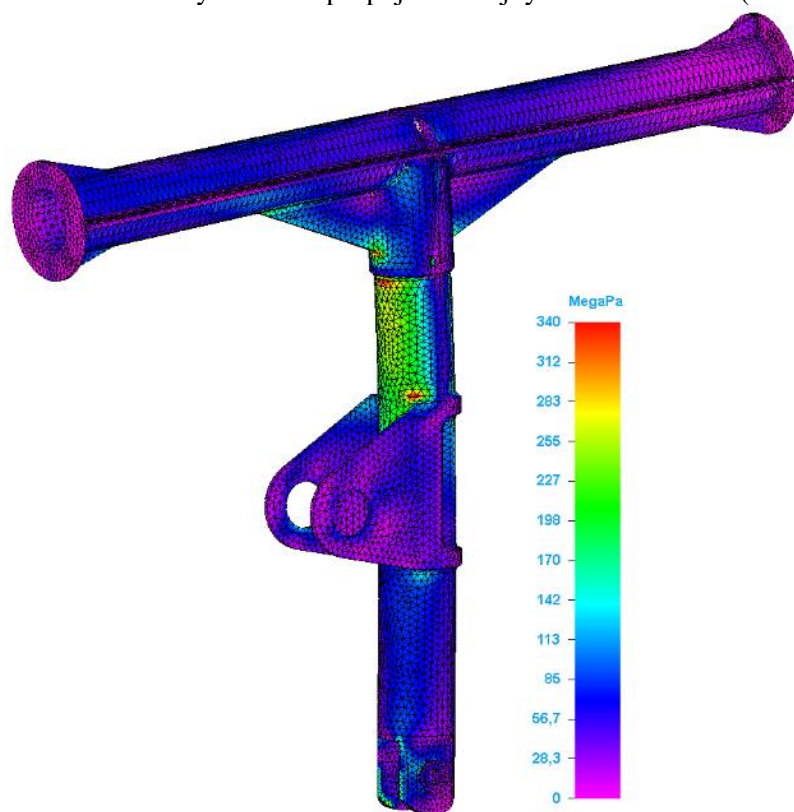


PR. 19 Pristátie s veľkým uhlom pozdĺžneho sklonu - Pohyblivá časť HPN

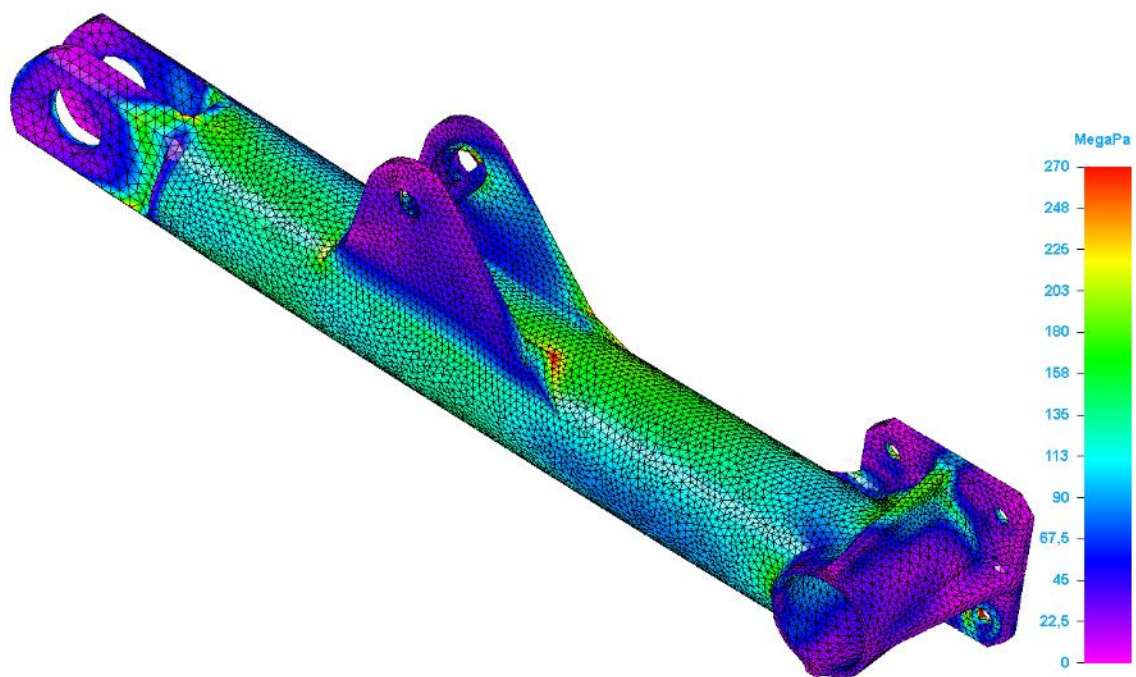
**Príloha E7 Podmienky brzdenia pri pojazde-Najvyššia sila na HPN  
(Prevádzkový prípad)**



PR. 20 Podmienky brzdenia pri pojazde-Najvyššia sila na HPN (HPN)



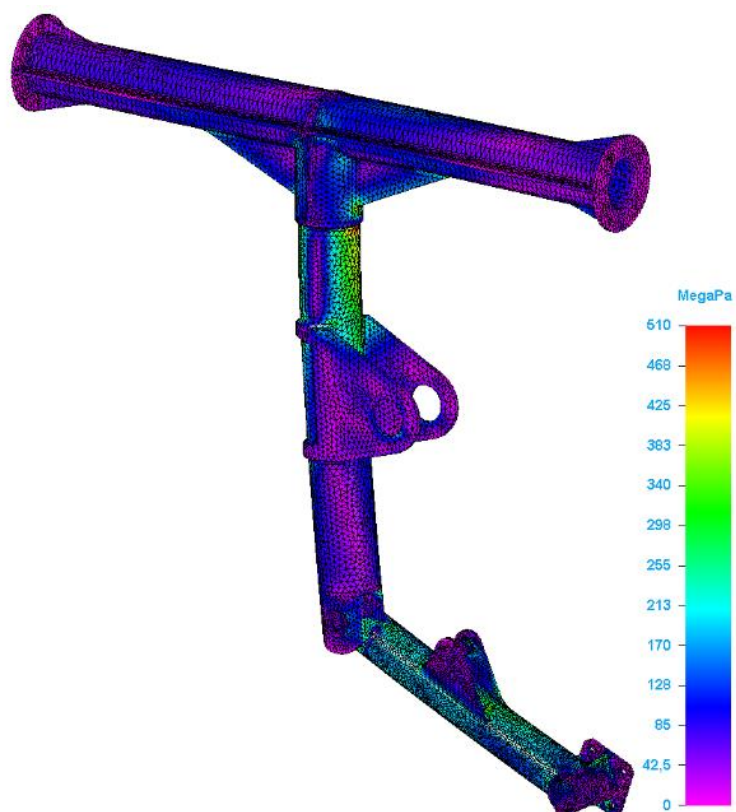
PR. 21 Podmienky brzdenia pri pojazde-Najvyššia sila na HPN – Hlavná trubka HPN



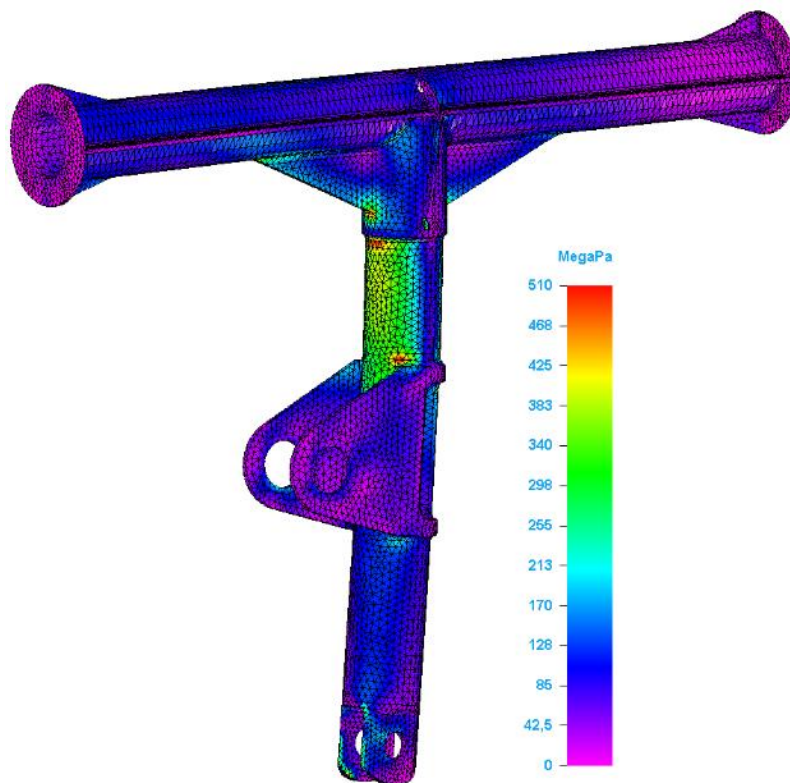
PR. 22 Podmienky brzdenia pri pojazde-Najvyššia sila na HPN - Pohyblivá časť HPN



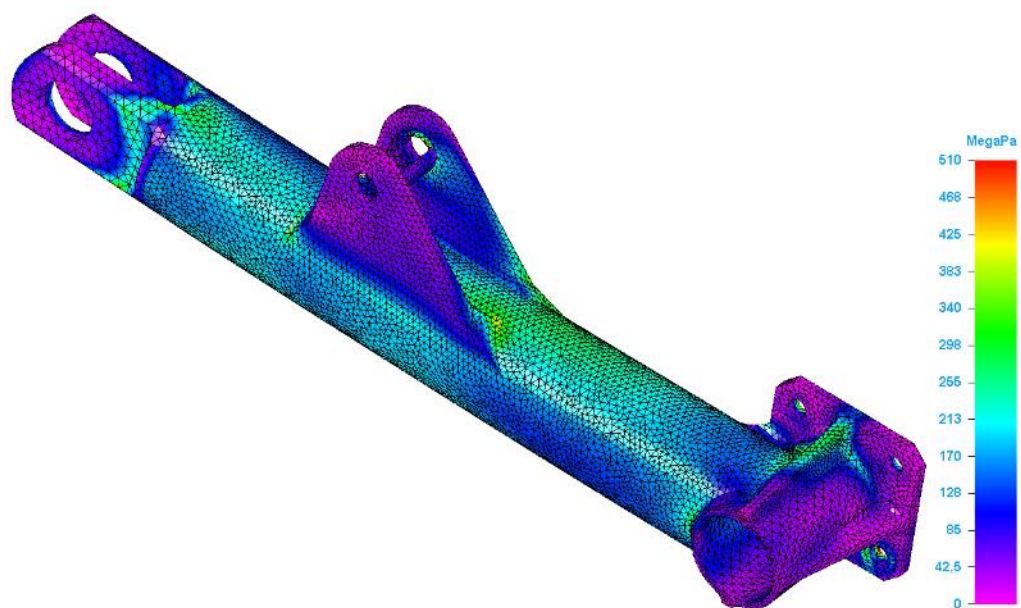
**Príloha E8 Podmienky brzdenia pri pojazde-Najvyššia sila na HPN  
( Početný prípad )**



PR. 23 Podmienky brzdenia pri pojazde-Najvyššia sila na HPN (HPN)



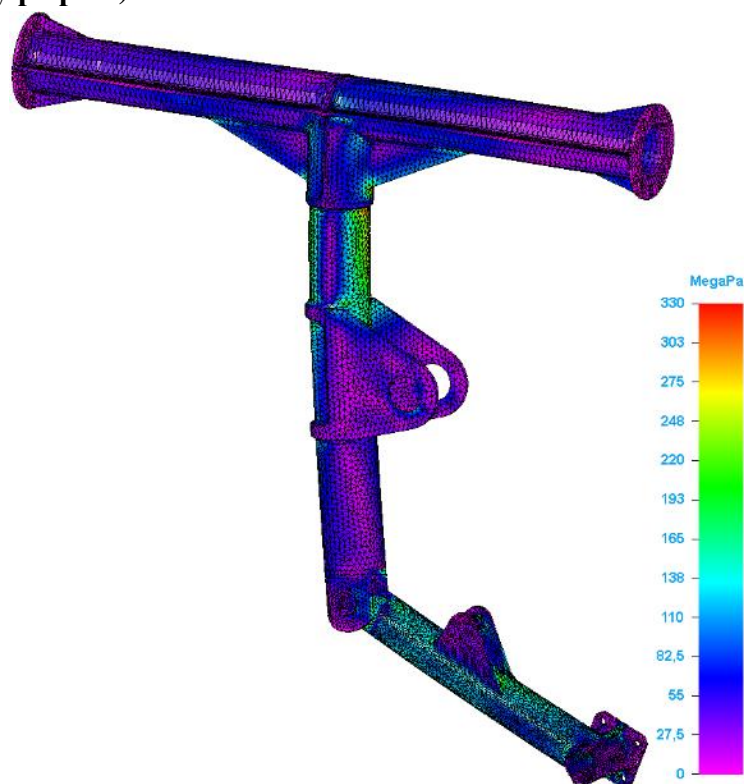
PR. 24 Podmienky brzdenia pri pojazde-Najvyššia sila na HPN – Hlavná trubka HPN



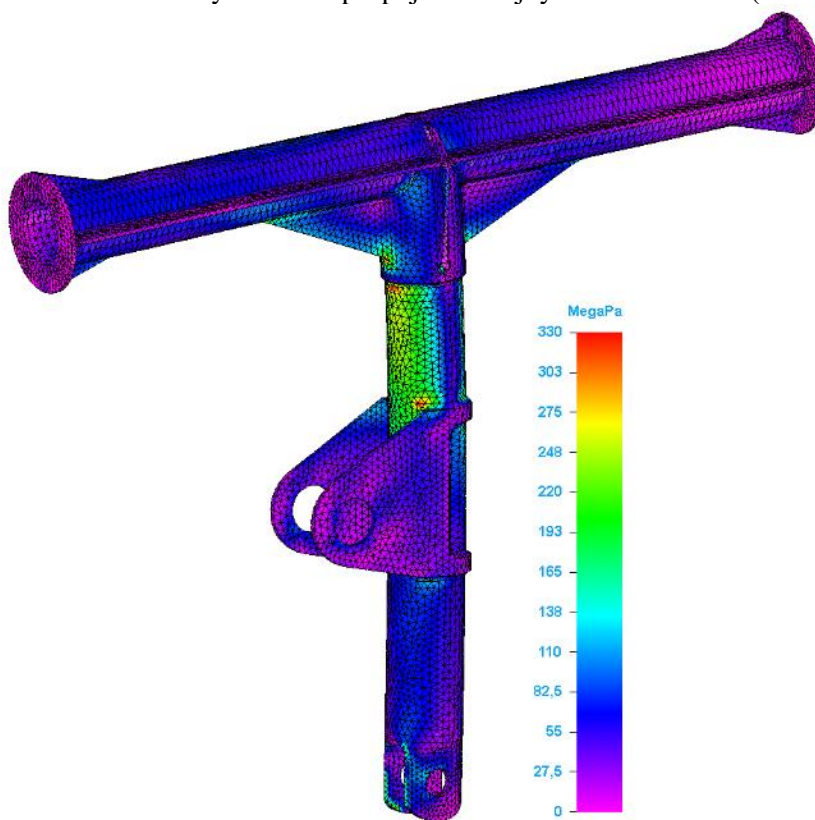
PR. 25 Podmienky brzdenia pri pojazde-Najvyššia sila na HPN - Pohyblivá časť HPN



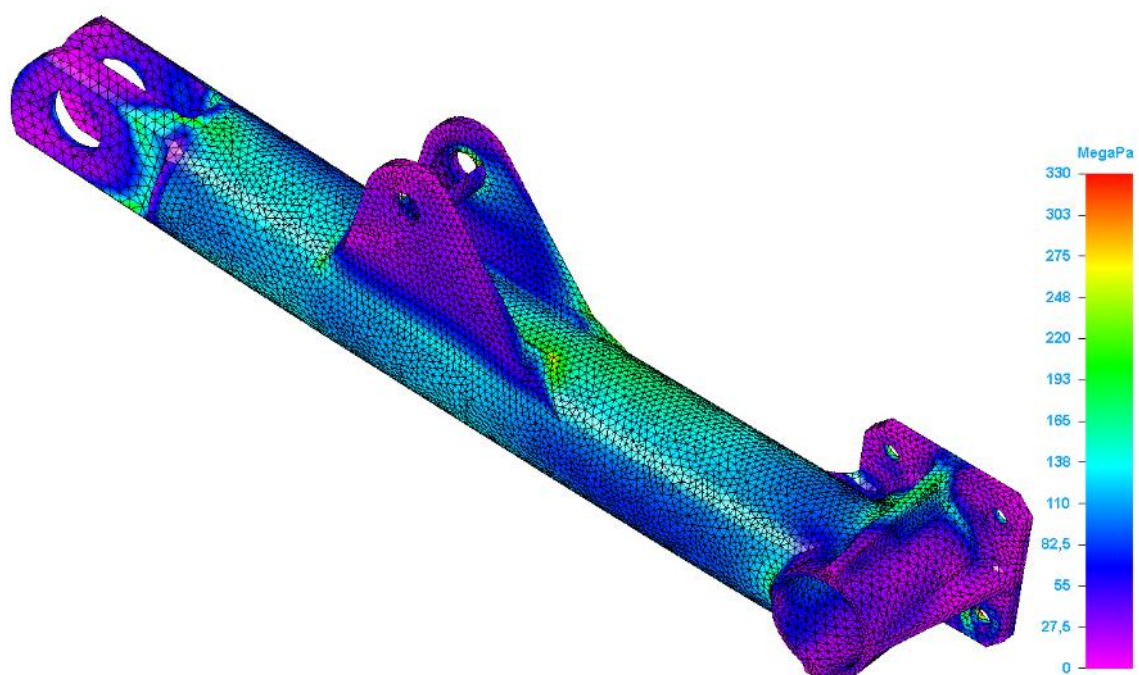
**Príloha E9 Podmienky brzdzenia pri pojazde-Najvyššia sila na PPN  
( Prevádzkový prípad )**



PR. 26 Podmienky brzdzenia pri pojazde-Najvyššia sila na PPN (HPN)

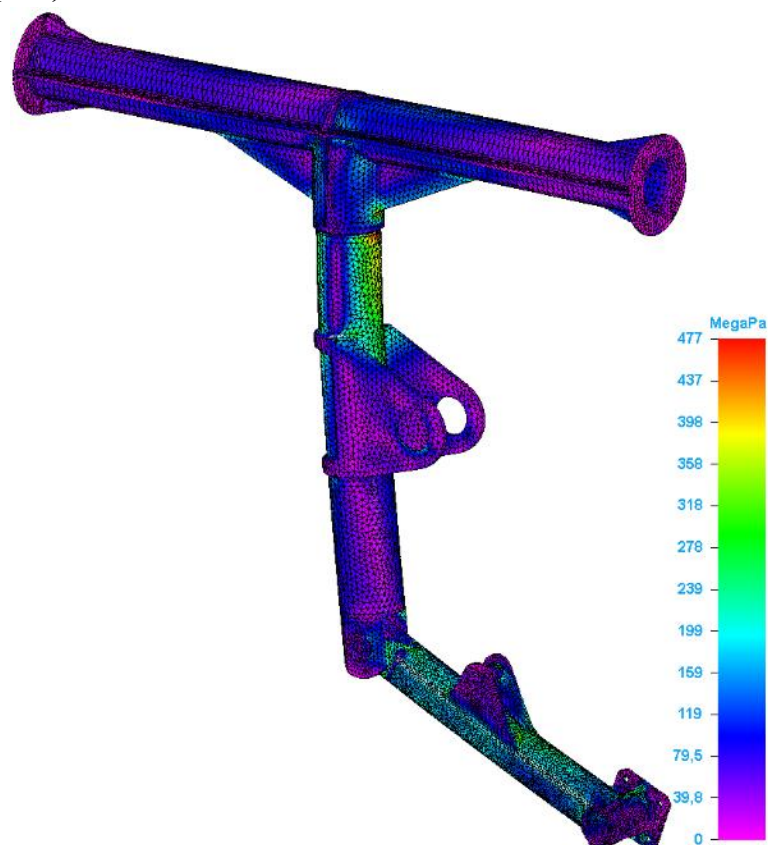


PR. 27 Podmienky brzdzenia pri pojazde-Najvyššia sila na PPN – Hlavná trubka HPN

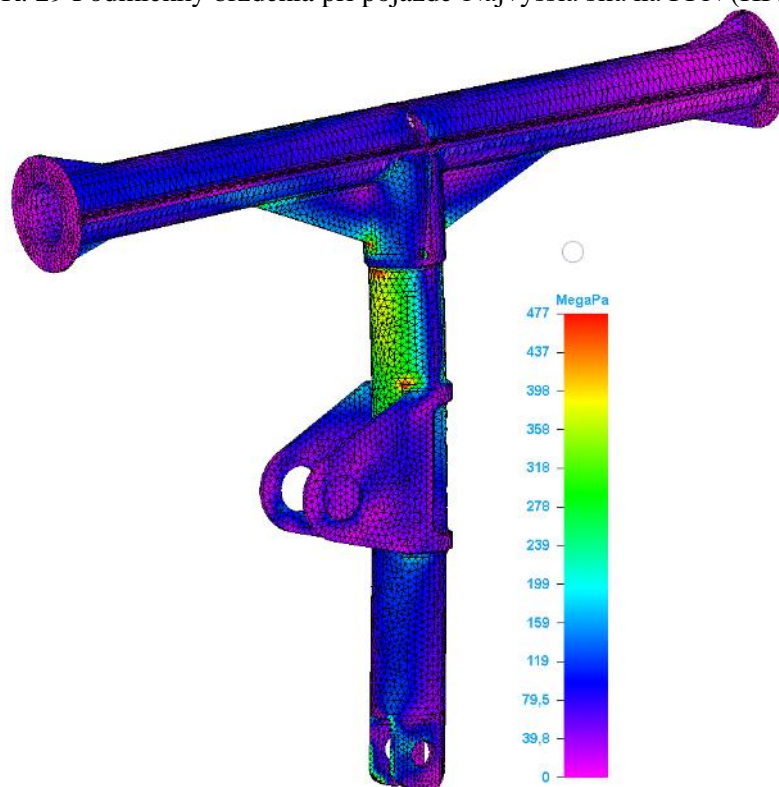


PR. 28 Podmienky brzdenia pri pojazde-Najvyššia sila na PPN - Pohyblivá časť HPN

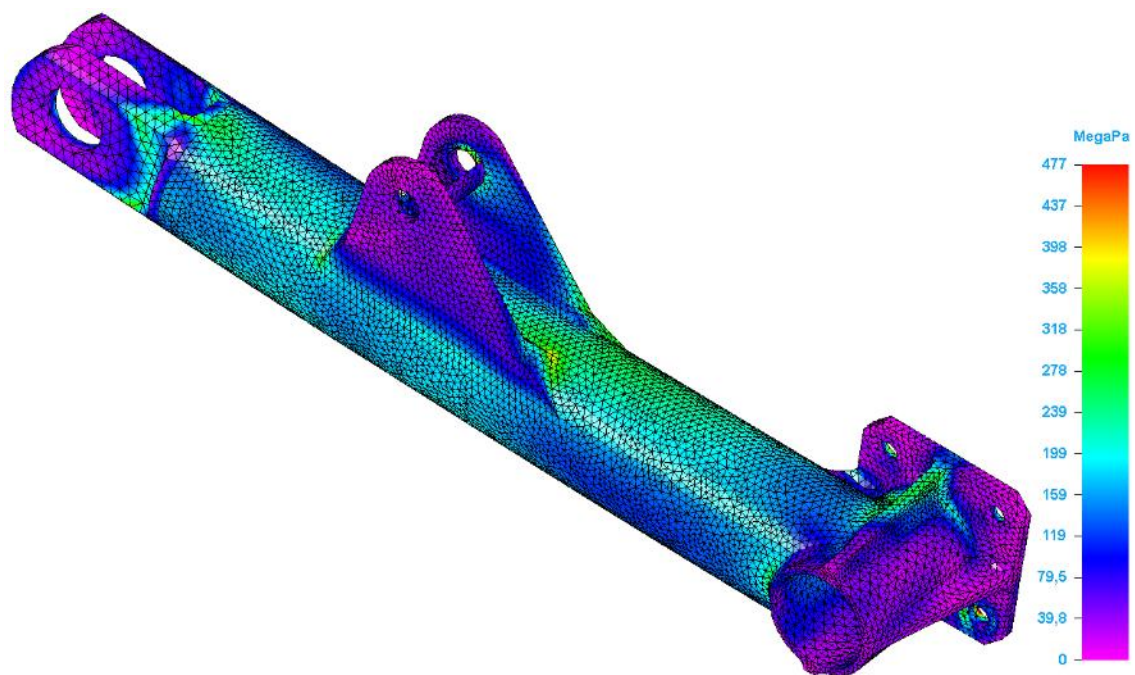
**Príloha E10 Podmienky brzdzenia pri pojazde-Najvyššia sila na PPN  
(Početný prípad )**



PR. 29 Podmienky brzdzenia pri pojazde-Najvyššia sila na PPN (HPN)

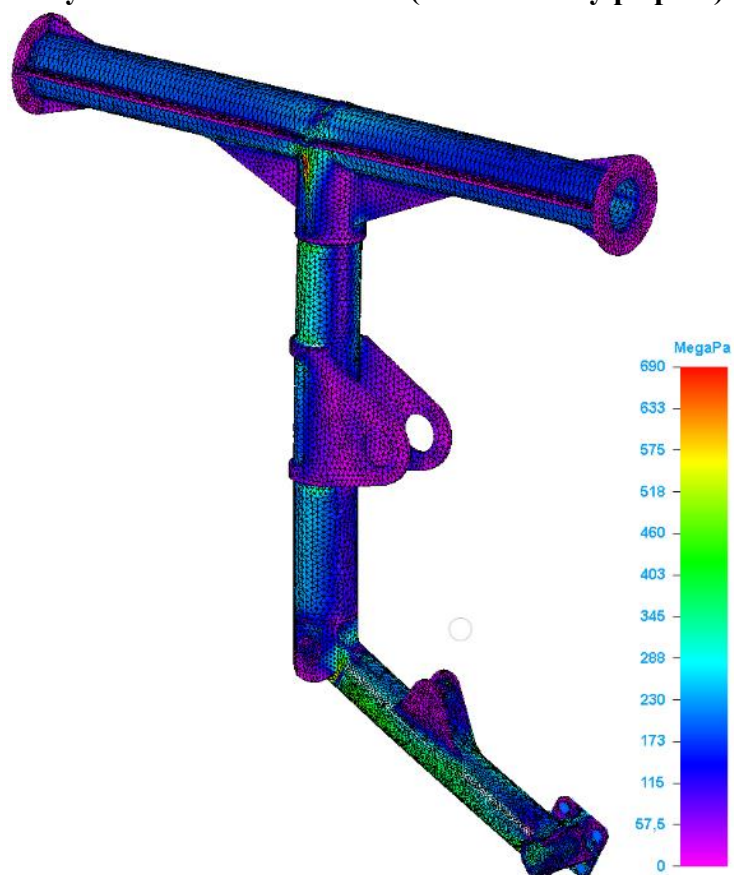


PR. 30 Podmienky brzdzenia pri pojazde-Najvyššia sila na PPN – Hlavná trubka HPN

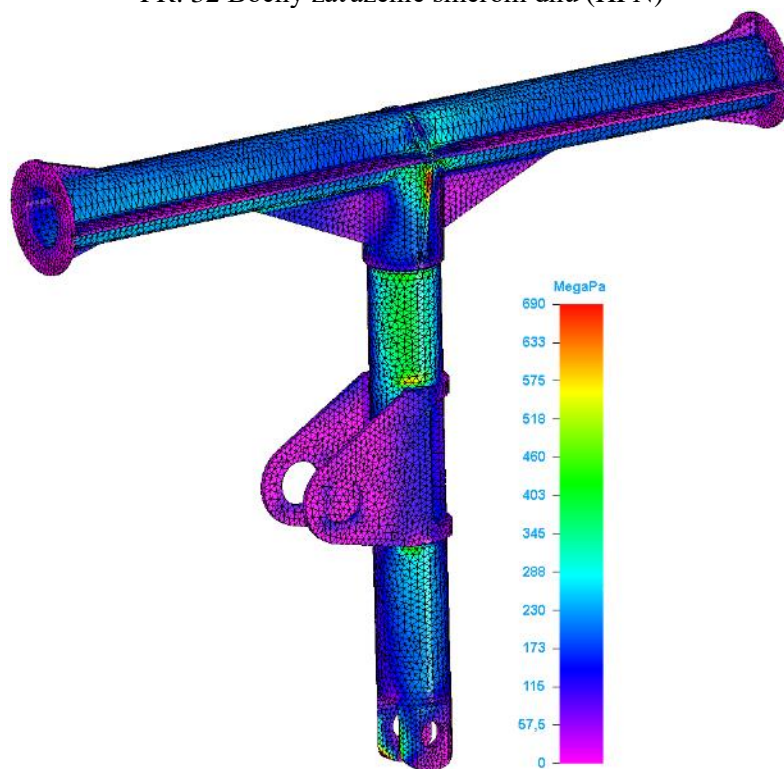


PR. 31 Podmienky brzdenia pri pojazde-Najvyššia sila na PPN - Pohyblivá časť HPN

**Príloha E11 Bočný zaťaženie smerom dnu ( Prevádzkový prípad )**

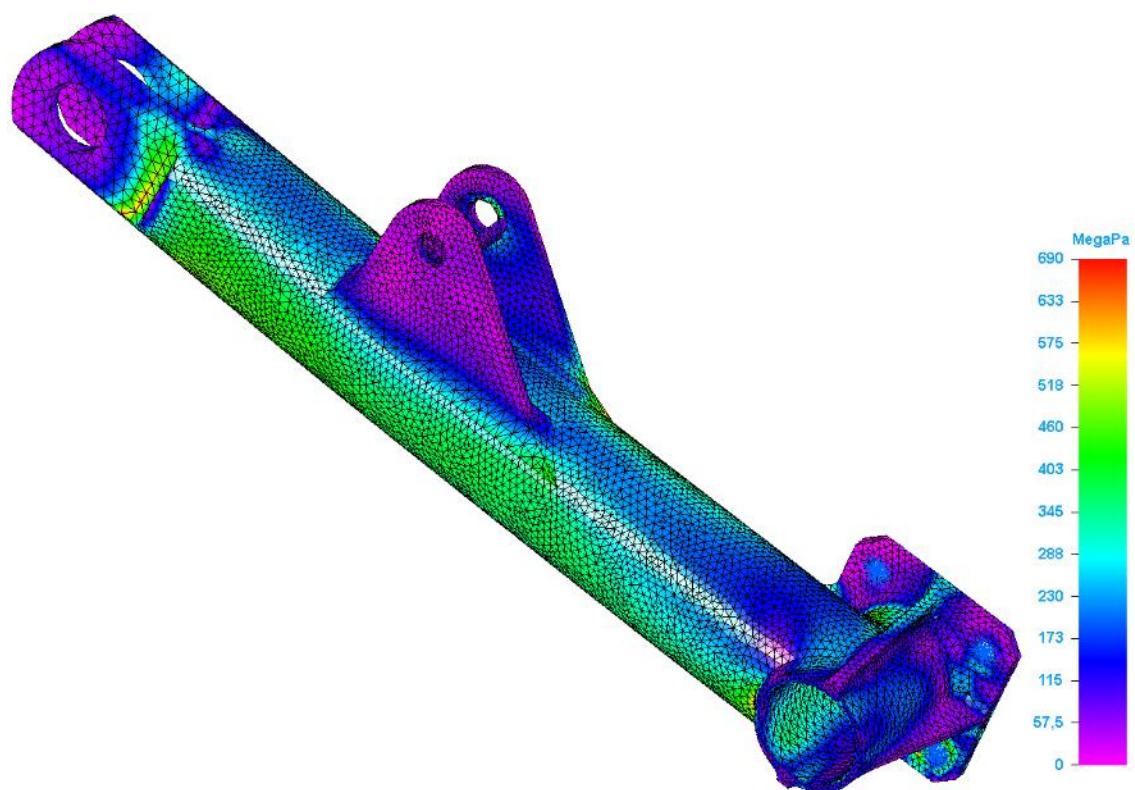


PR. 32 Bočný zaťaženie smerom dnu (HPN)



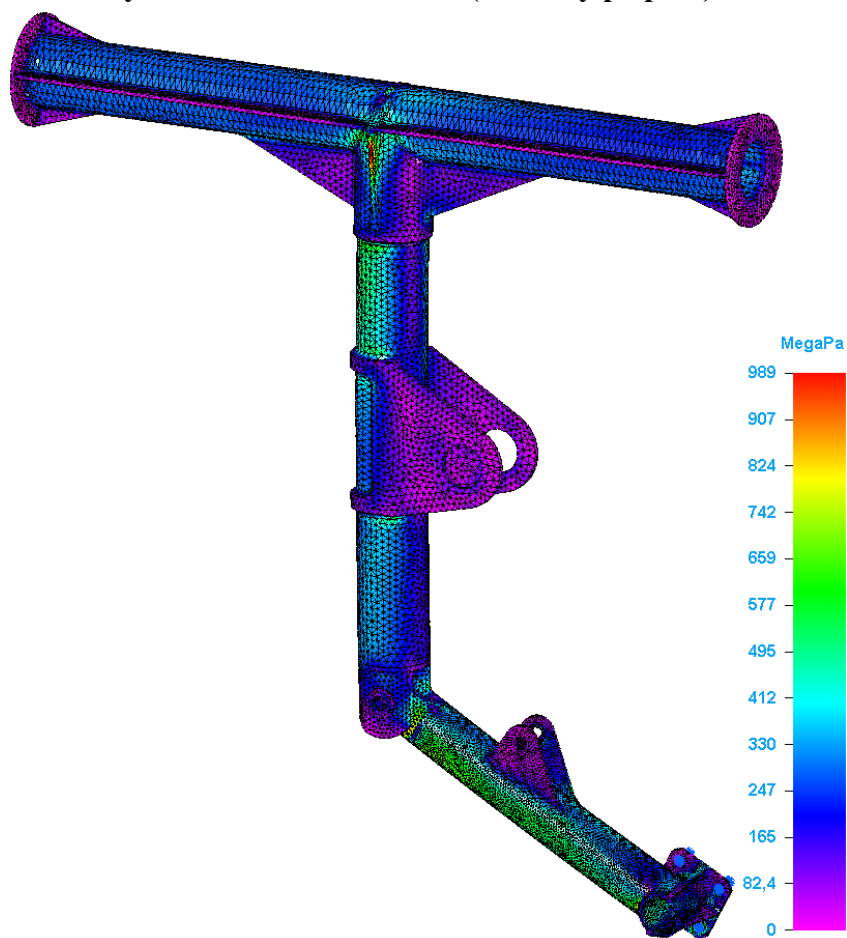
PR. 33 Bočný zaťaženie smerom dnu – Hlavná trubka HPN



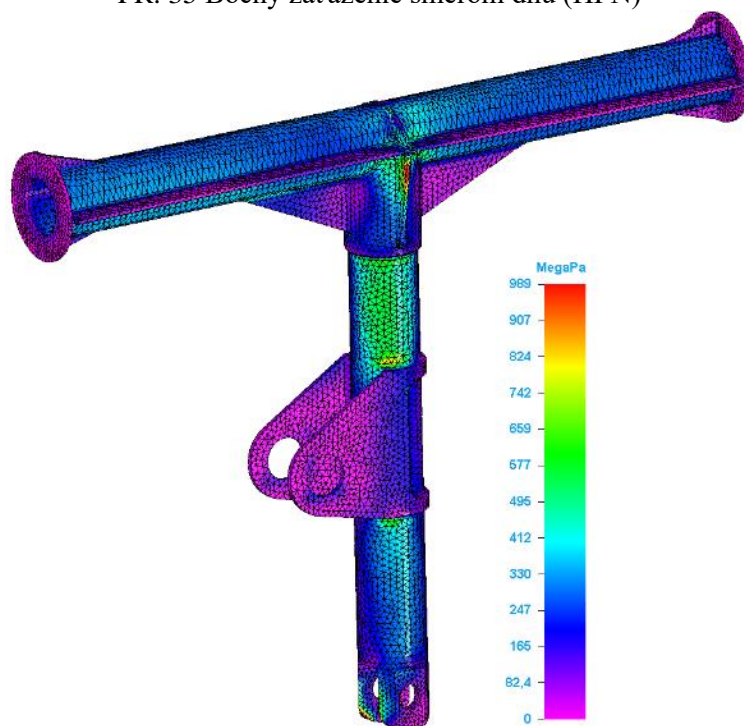


PR. 34 Bočný zaťaženie smerom dnu - Pohyblivá časť HPN

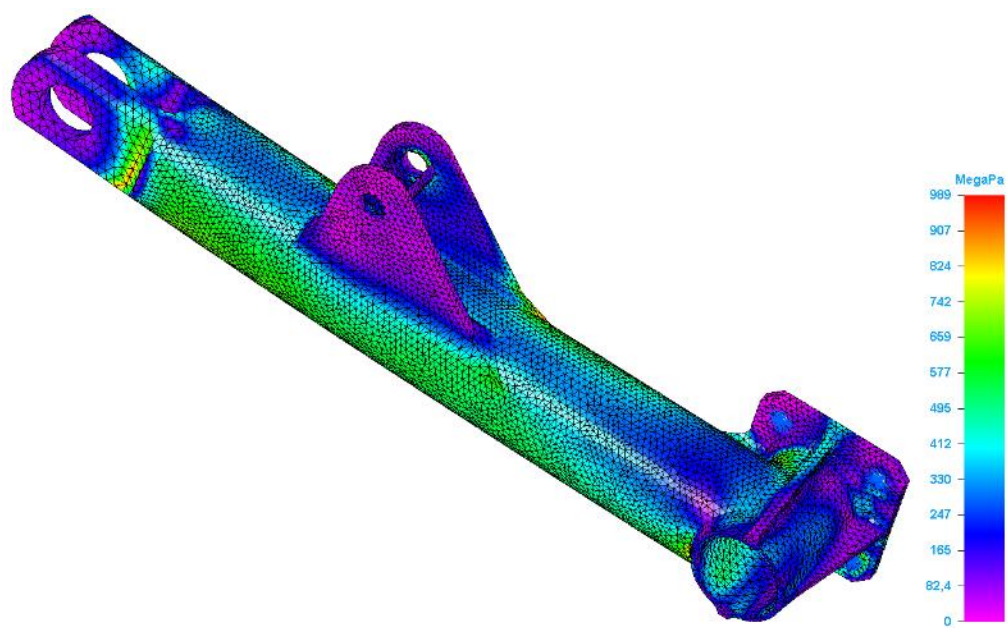
**Príloha E12 Bočný zaťaženie smerom dnu ( Početný prípad )**



PR. 35 Bočný zaťaženie smerom dnu (HPN)



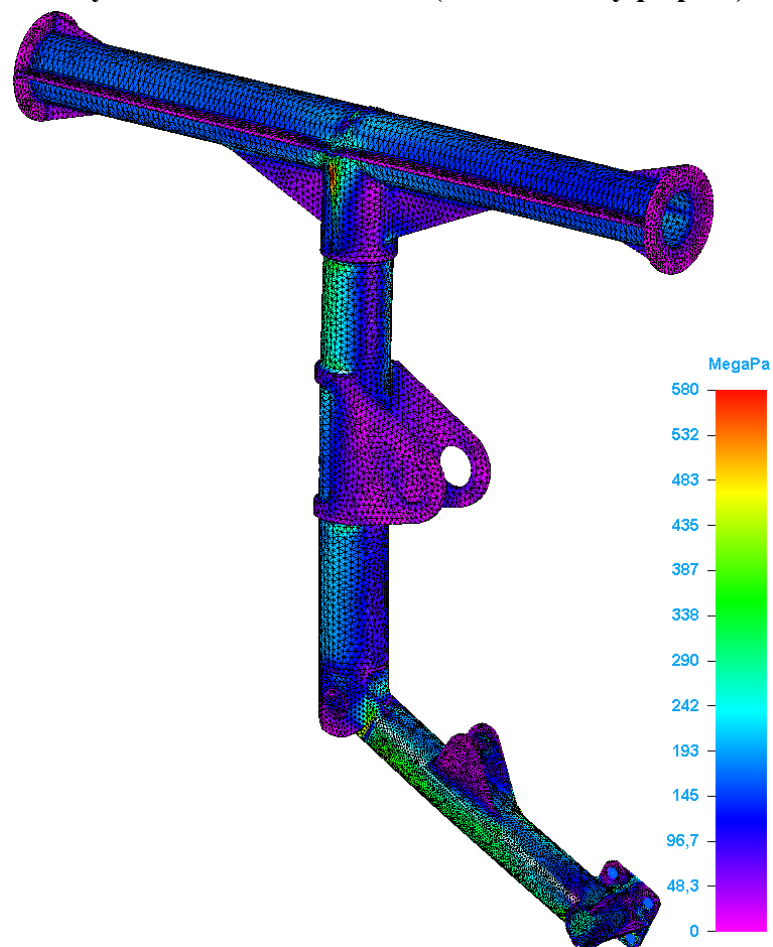
PR. 36 Bočný zaťaženie smerom dnu – Hlavná trubka HPN



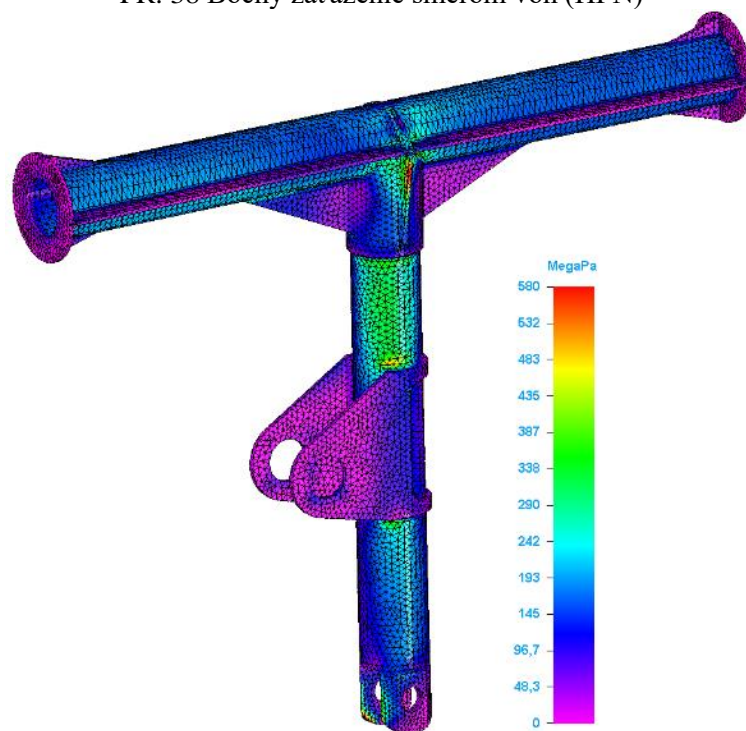
PR. 37 Bočný zaťaženie smerom dnu - Pohyblivá časť HPN



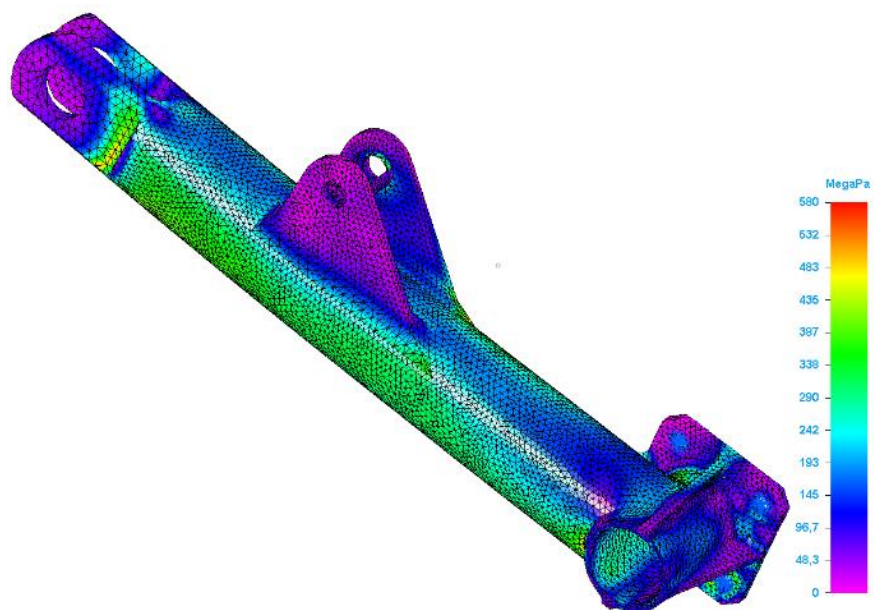
**Príloha E13 Bočný zat'azenie smerom von ( Prevádzkový prípad )**



PR. 38 Bočný zat'azenie smerom von (HPN)

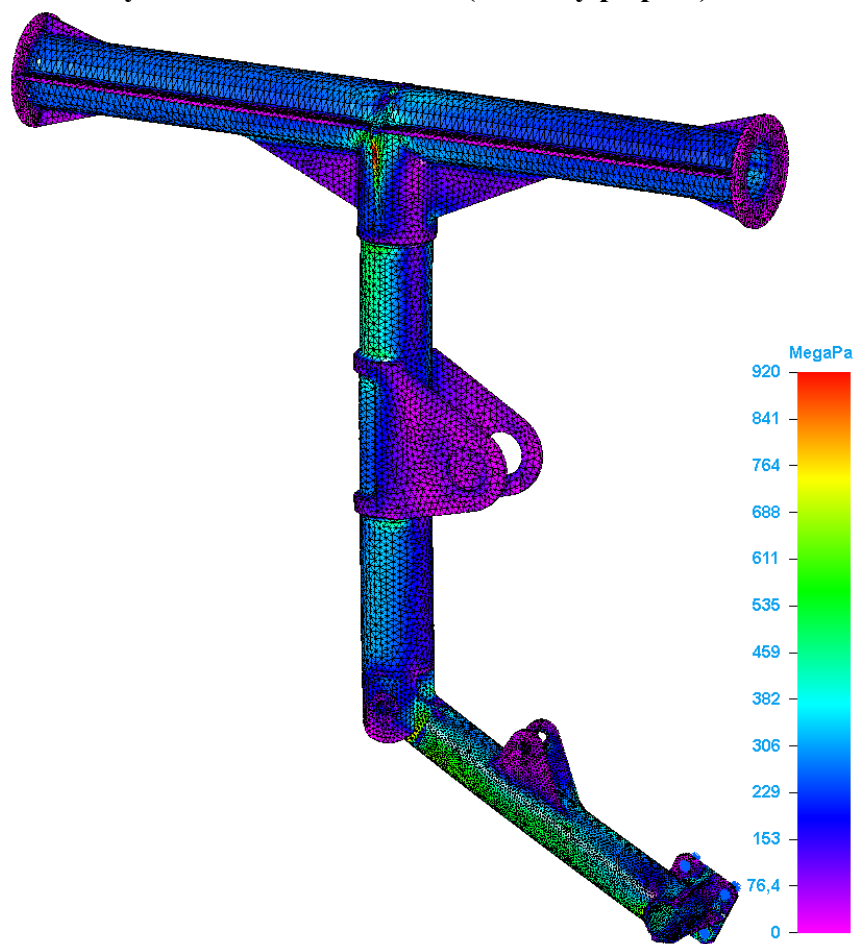


PR. 39 Bočný zat'azenie smerom von – Hlavná trubka HPN

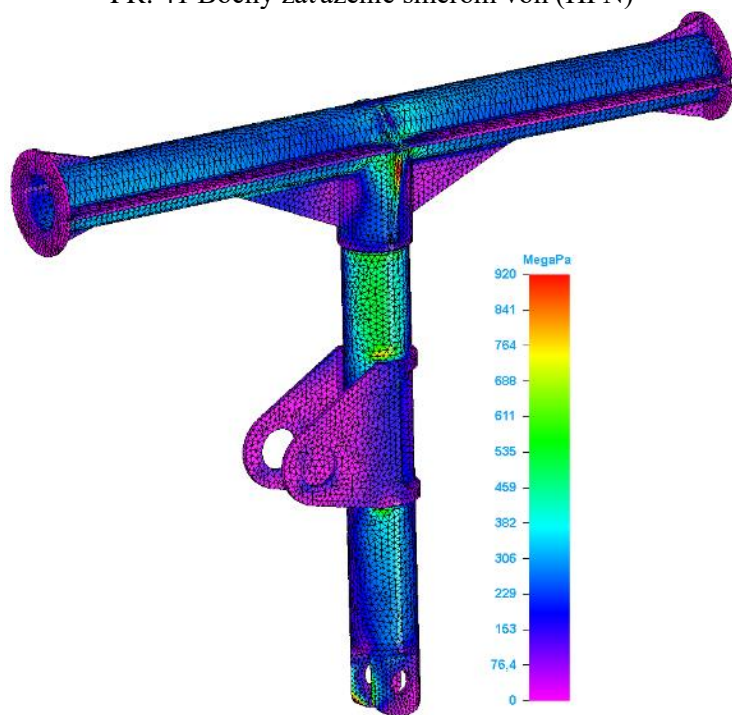


PR. 40 Bočný zaťaženie smerom von - Pohyblivá časť HPN

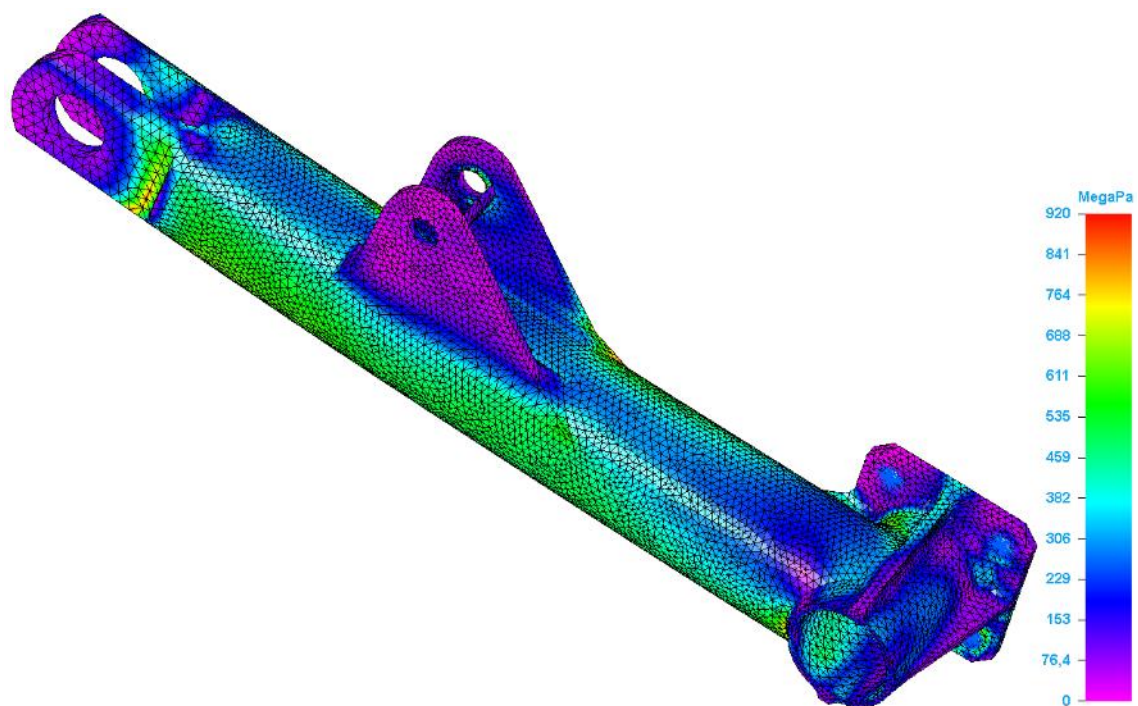
**Príloha E14 Bočný zat'azenie smerom von ( Početný prípad )**



PR. 41 Bočný zat'azenie smerom von (HPN)



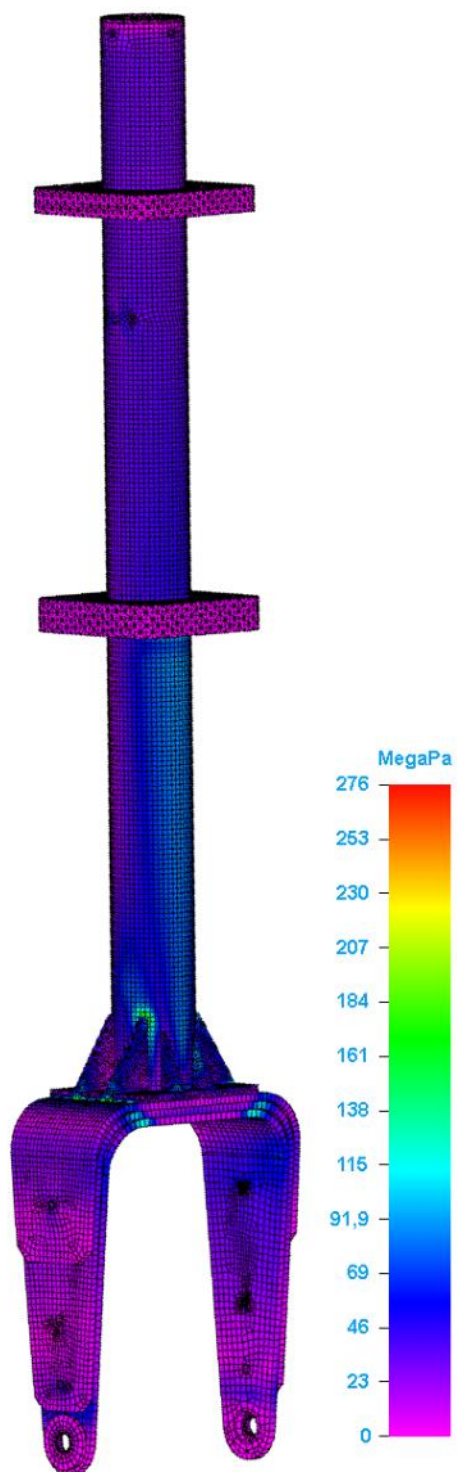
PR. 42 Bočný zat'azenie smerom von – Hlavná trubka HPN



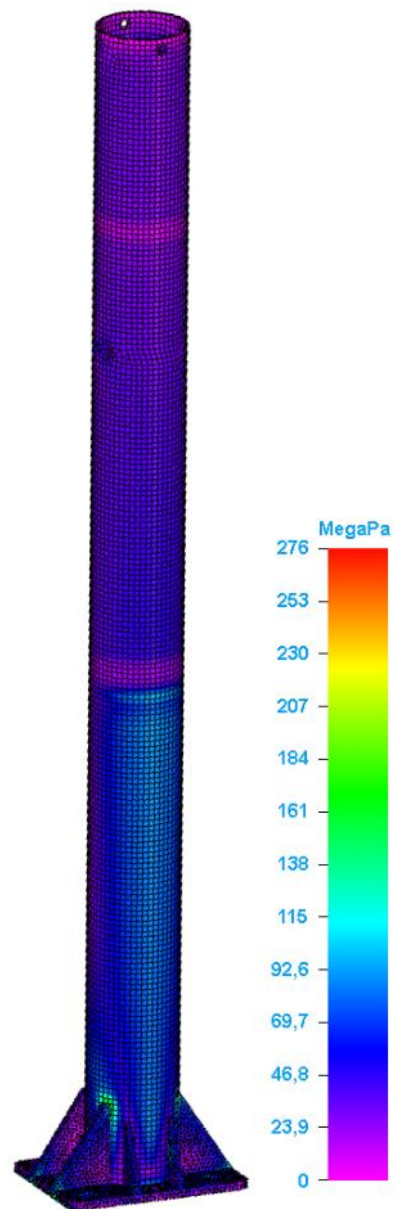
PR. 43 Bočný zaťaženie smerom von - Pohyblivá časť HPN

## Príloha F MKP analýza PPN

### Príloha F1 Vodorovné pristátie so sklonenými reakciami (Prevádzkový prípad)

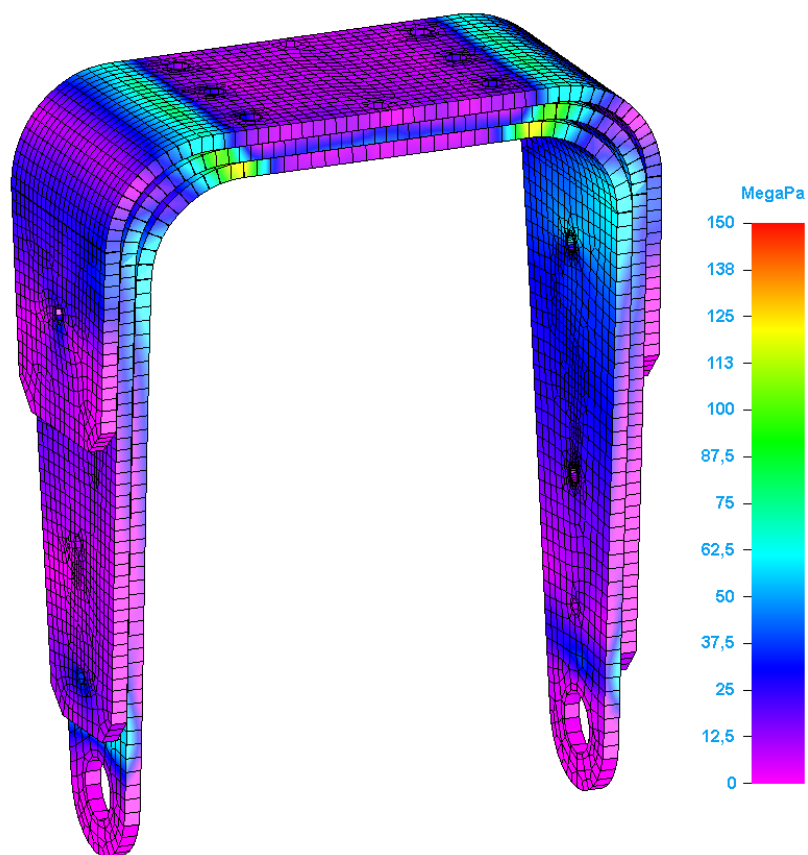


PR. 44 PPN

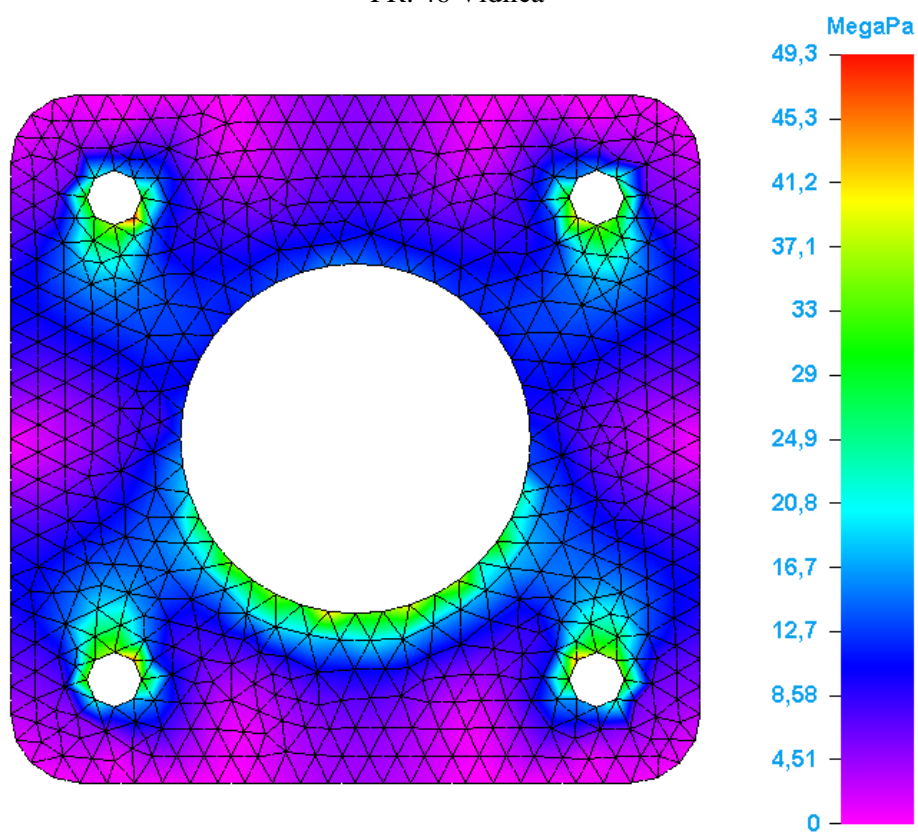


PR. 45 Hlavná trubka PPN

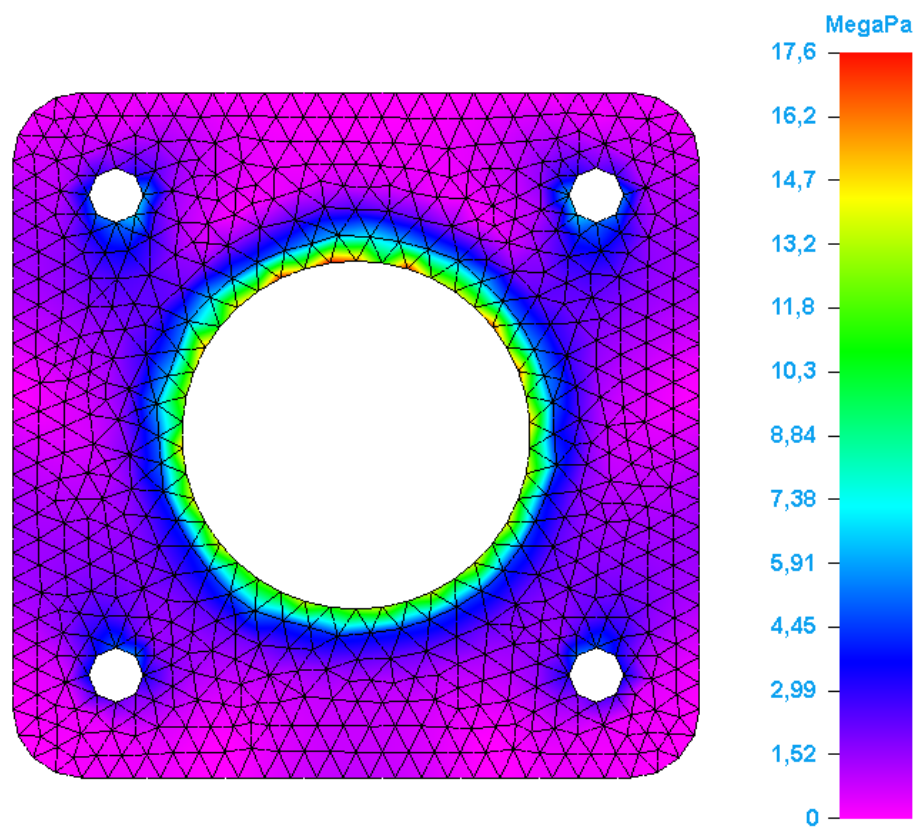




PR. 46 Vidlica

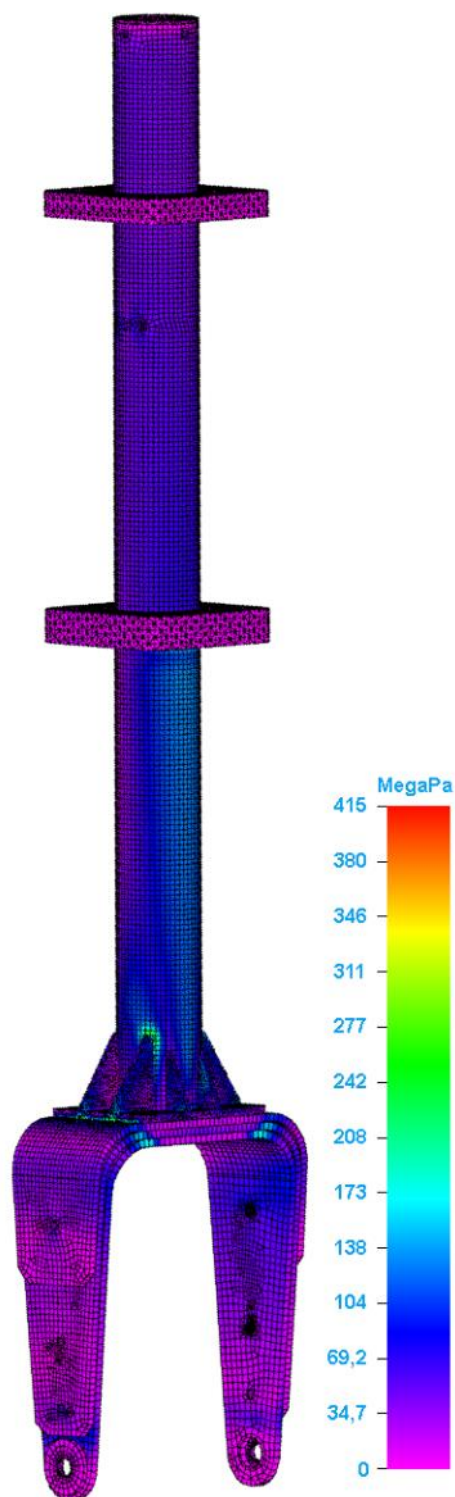


PR. 47 Dolné uloženie

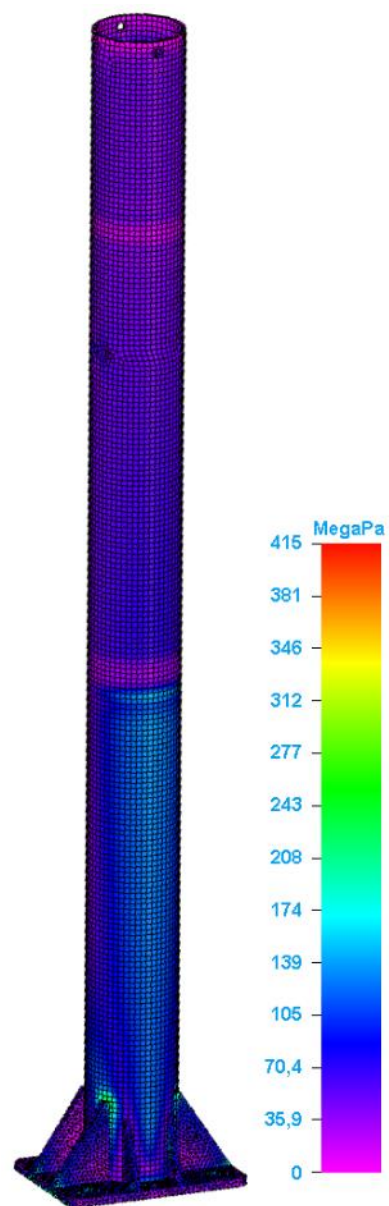


PR. 48 Horné uloženie

**Príloha F2 Vodorovné pristátie so sklonenými reakciami (Početný prípad)**

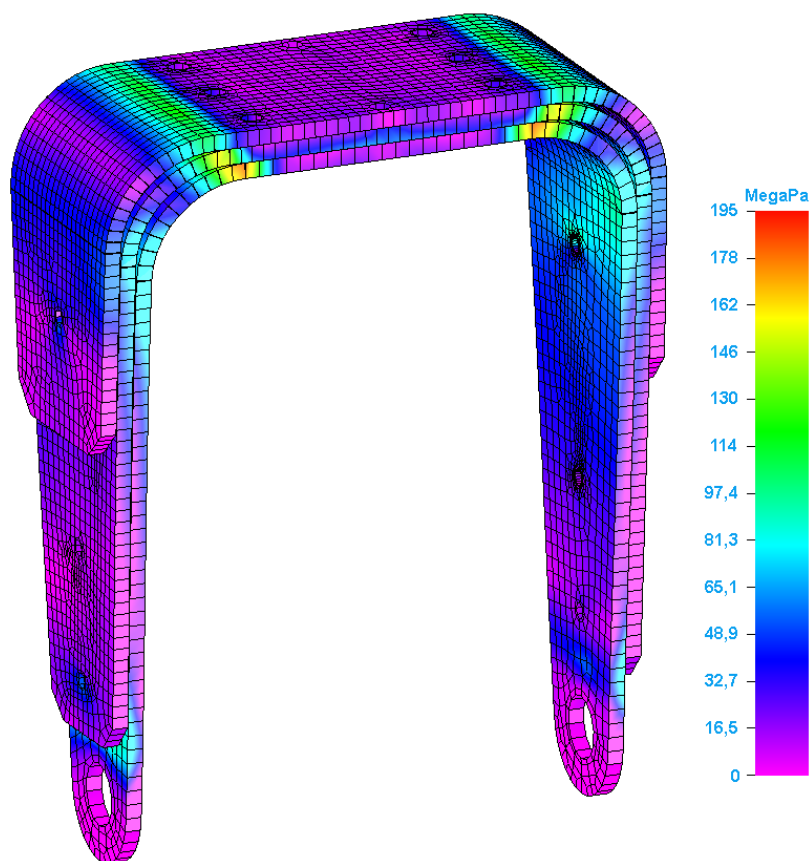


PR. 49 PPN

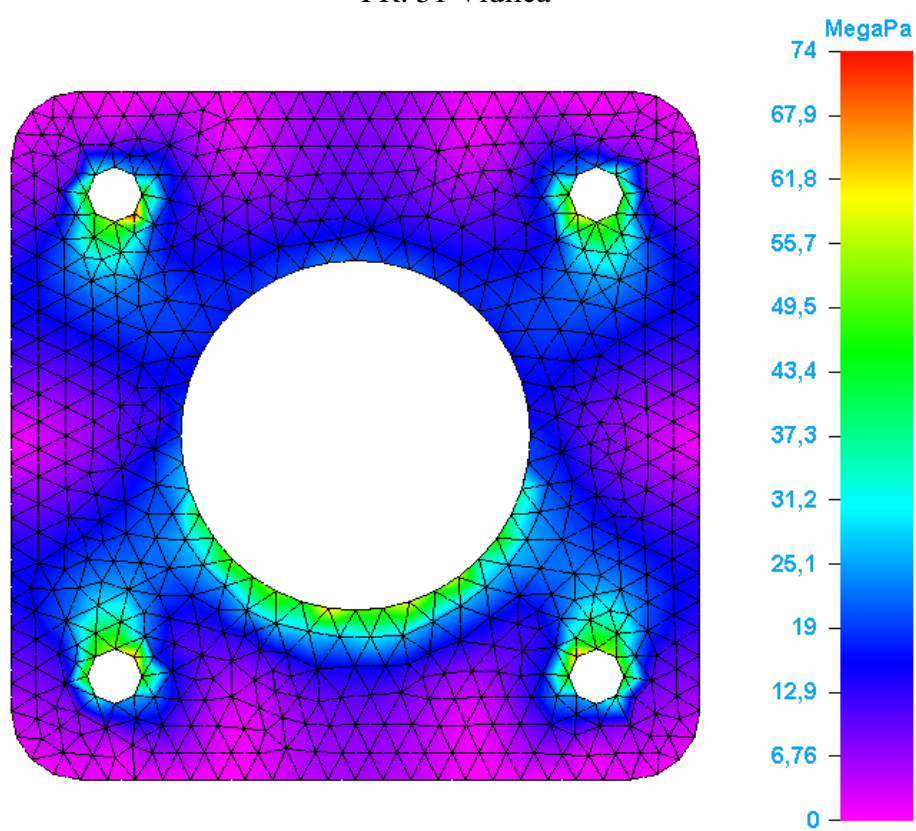


PR. 50 Hlavná trubka PPN

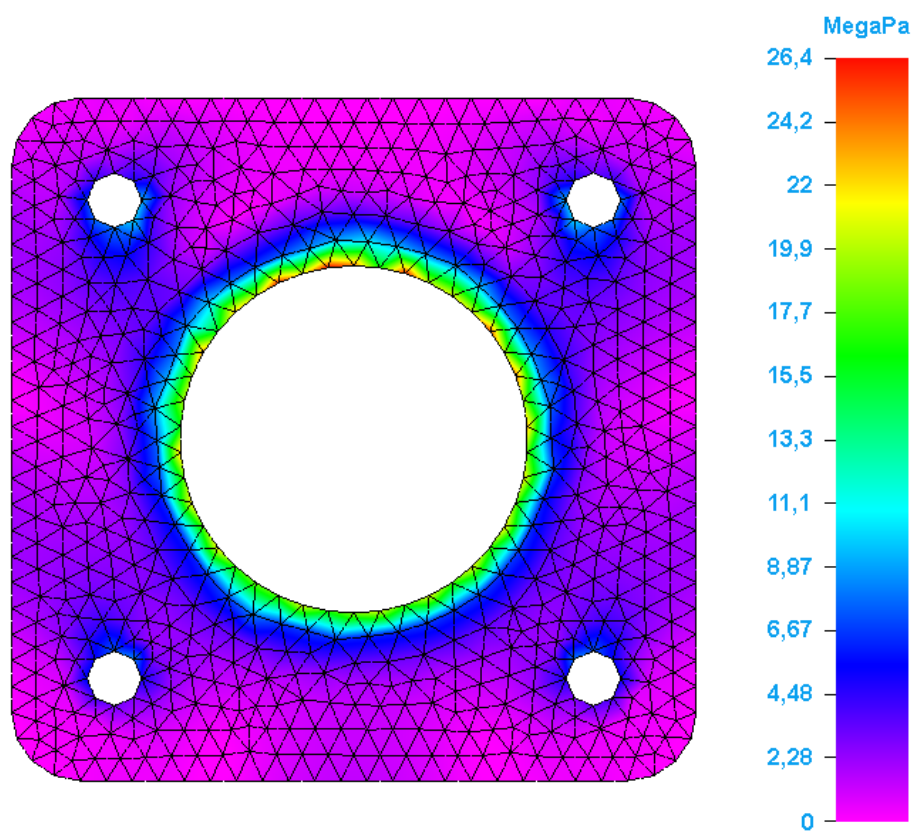




PR. 51 Vidlica

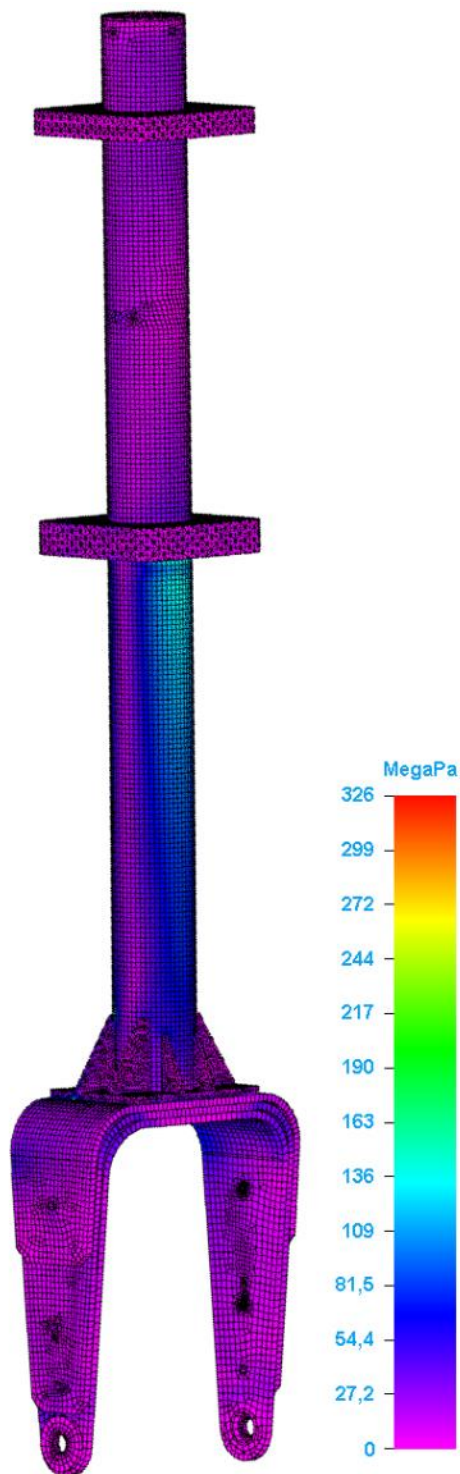


PR. 52 Dolné uloženie

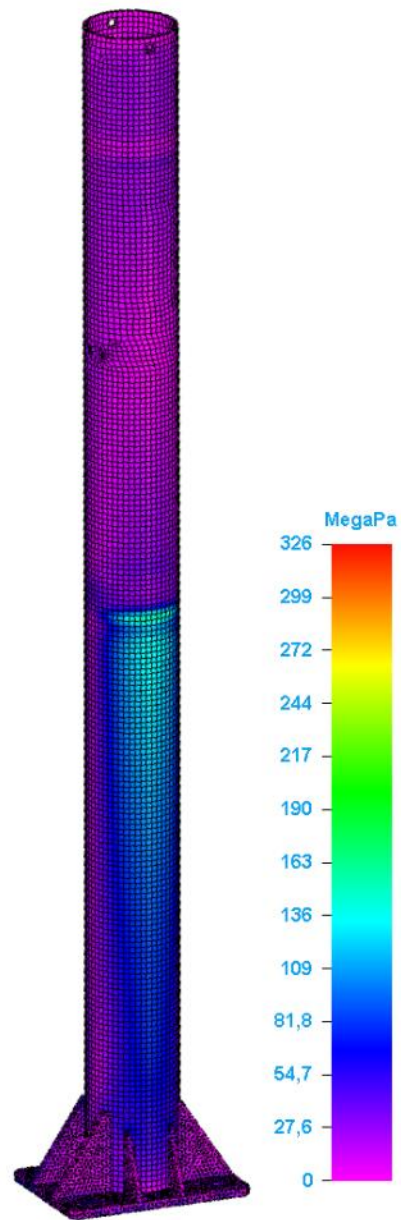


PR. 53 Horné uloženie

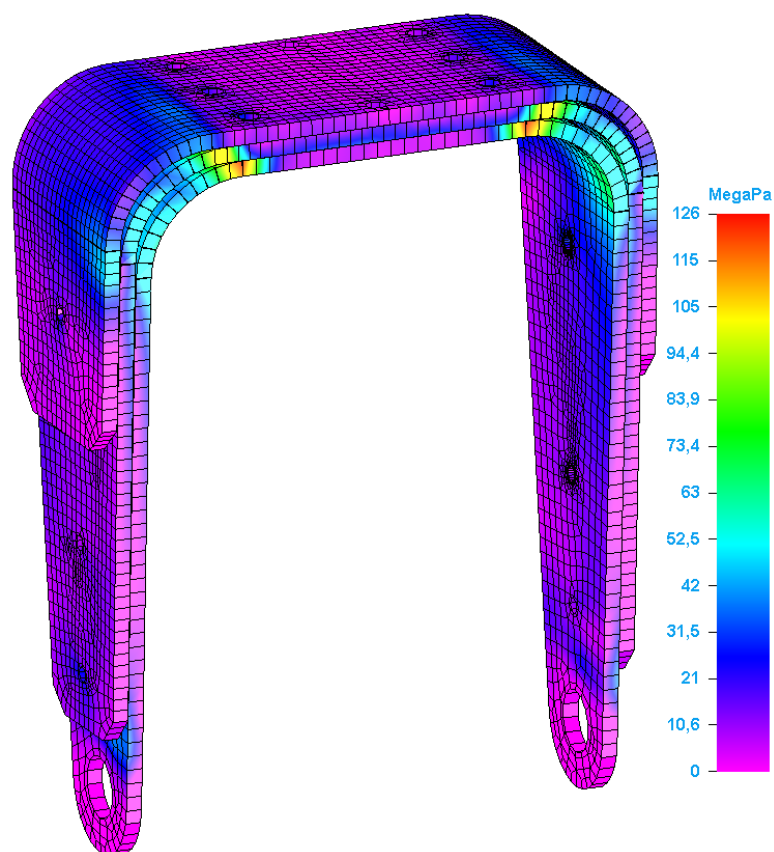
**Príloha F3 Podmienky brzdenia pri pojazde-Najvyššia sila na HPN  
(Prevádzkový prípad)**



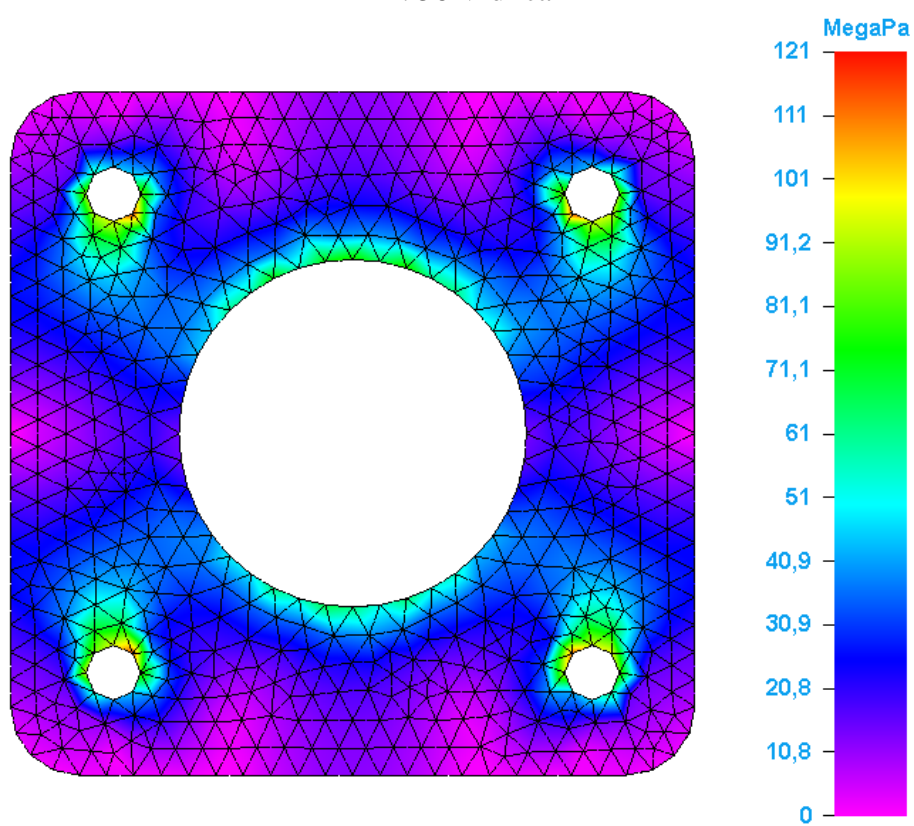
PR. 54 PPN



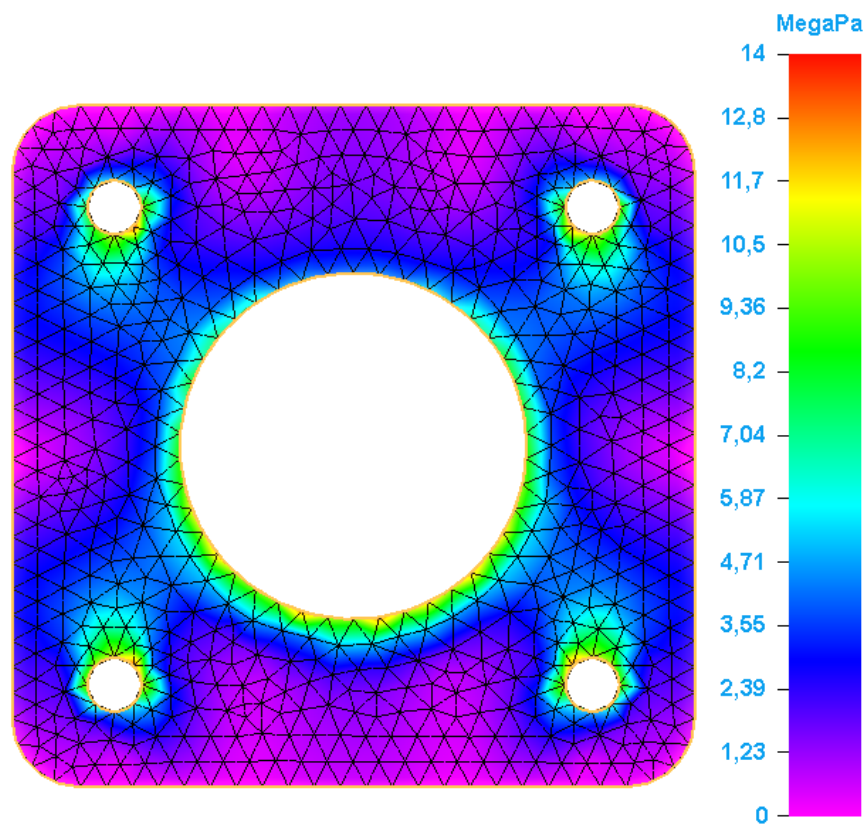
PR. 55 Hlavná trubka PPN



PR. 56 Vidlica



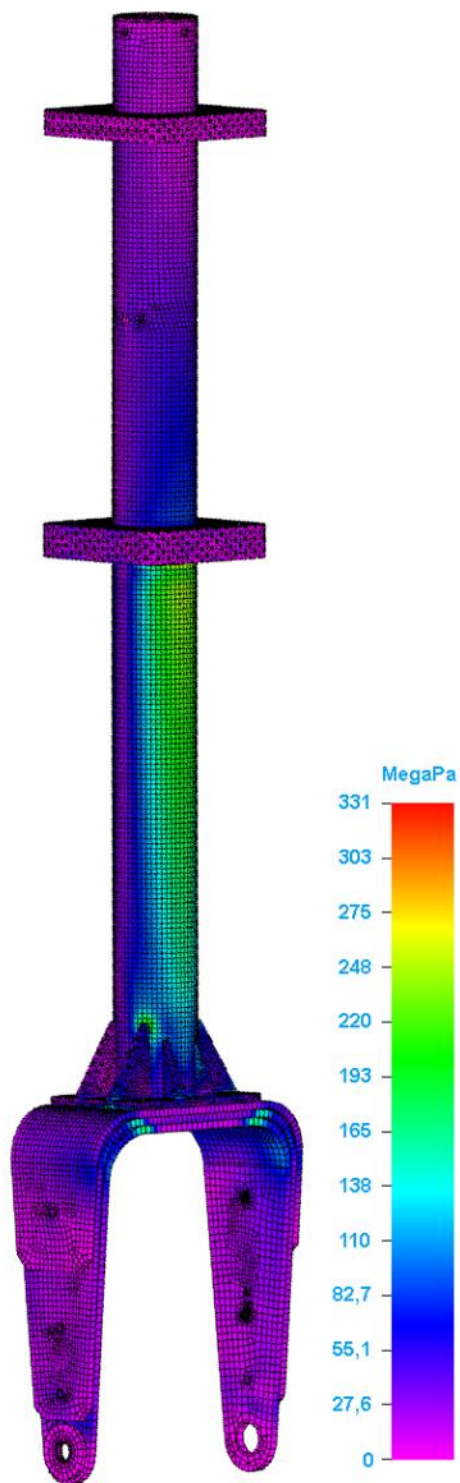
PR. 57 Dolné uloženie



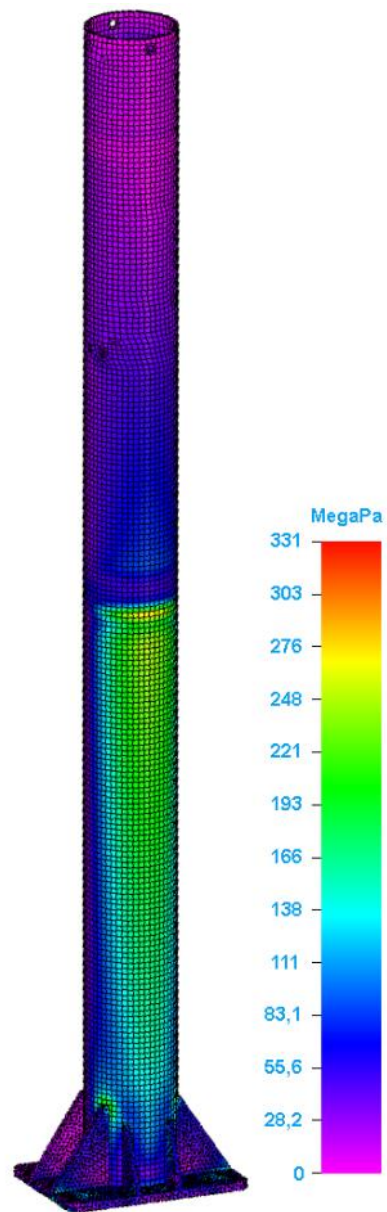
PR. 58 Horné uloženie



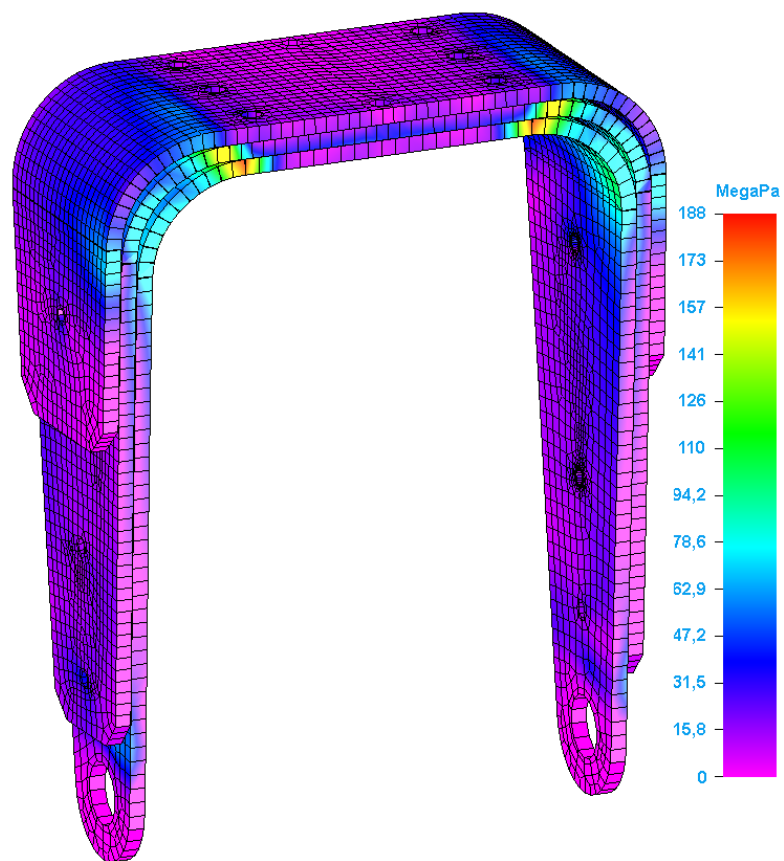
**Príloha F4 Podmienky brzdzenia pri pojazde-Najvyššia sila na HPN  
(Početný prípad)**



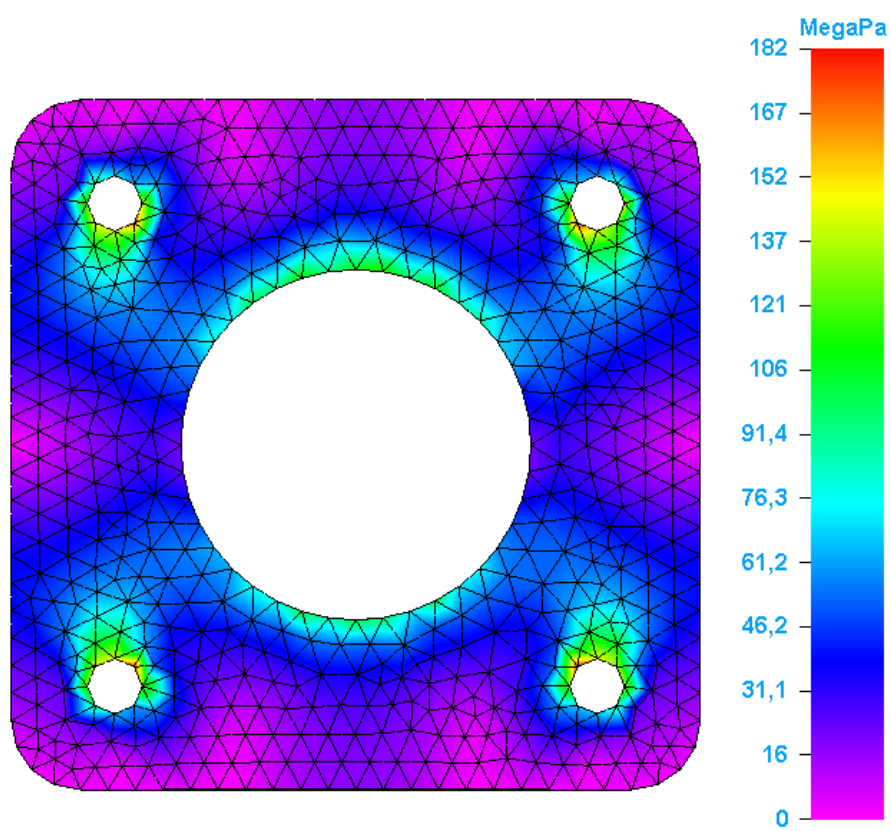
PR. 59 PPN



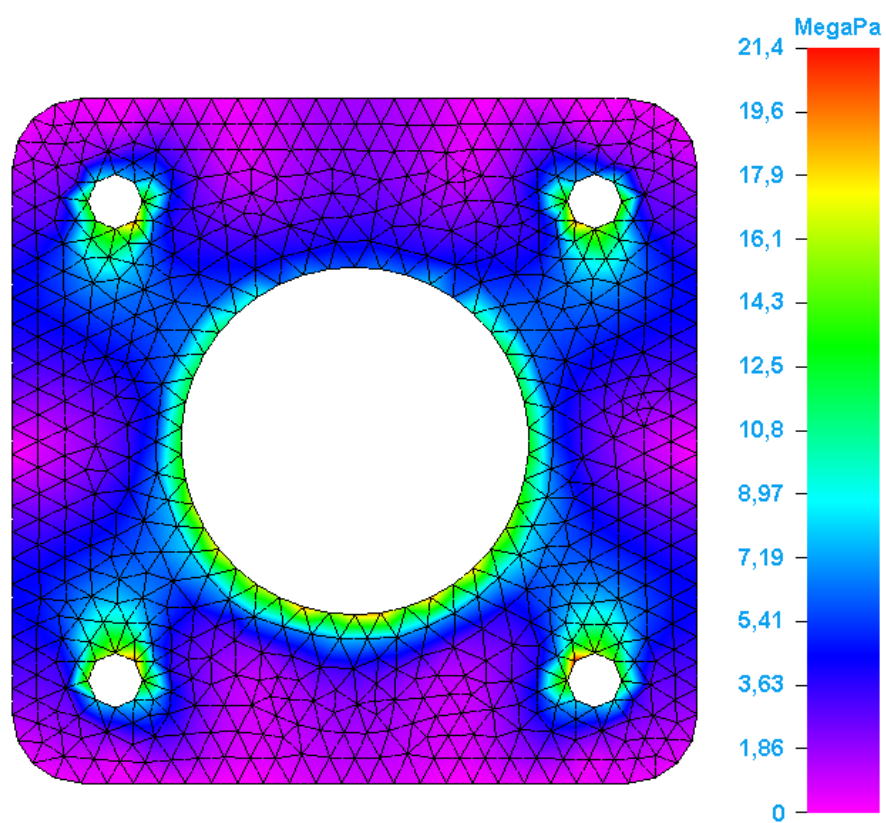
PR. 60 Hlavná trubka PPN



PR. 61 Vidlica



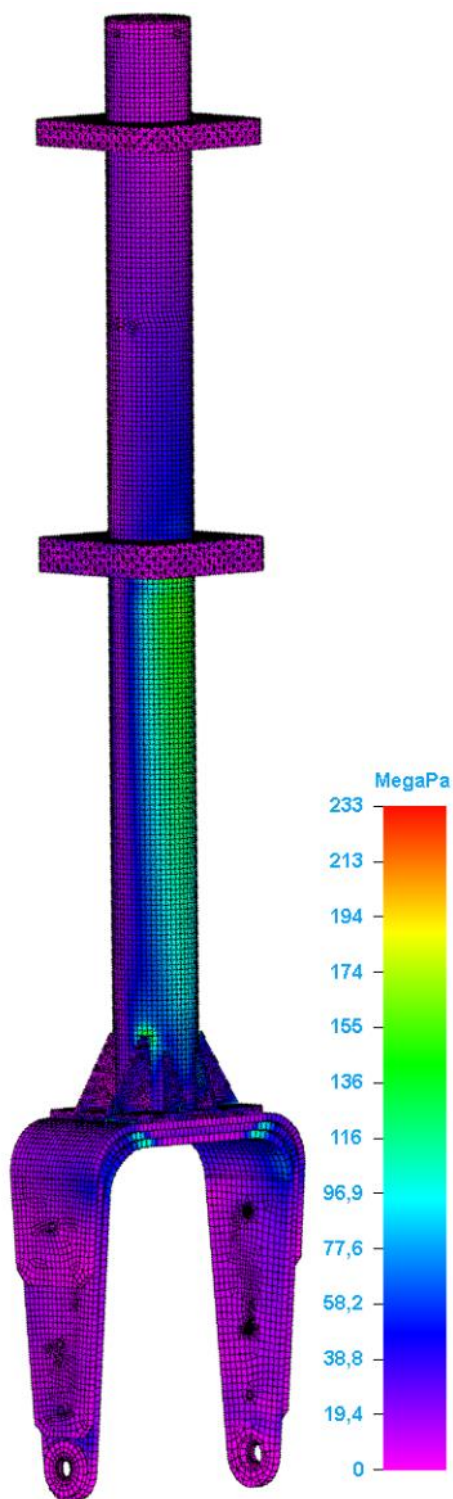
PR. 62 Dolné uloženie



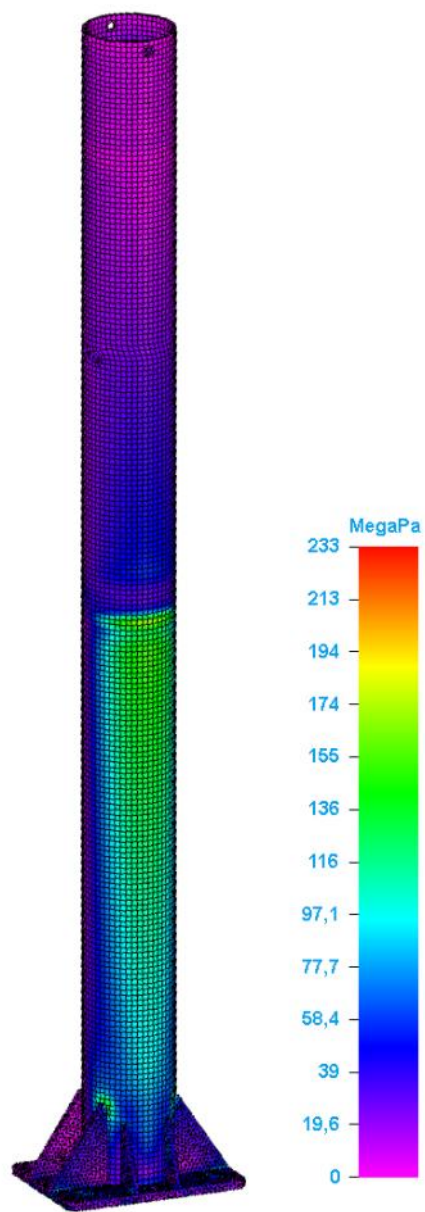
PR. 63 Horné uloženie



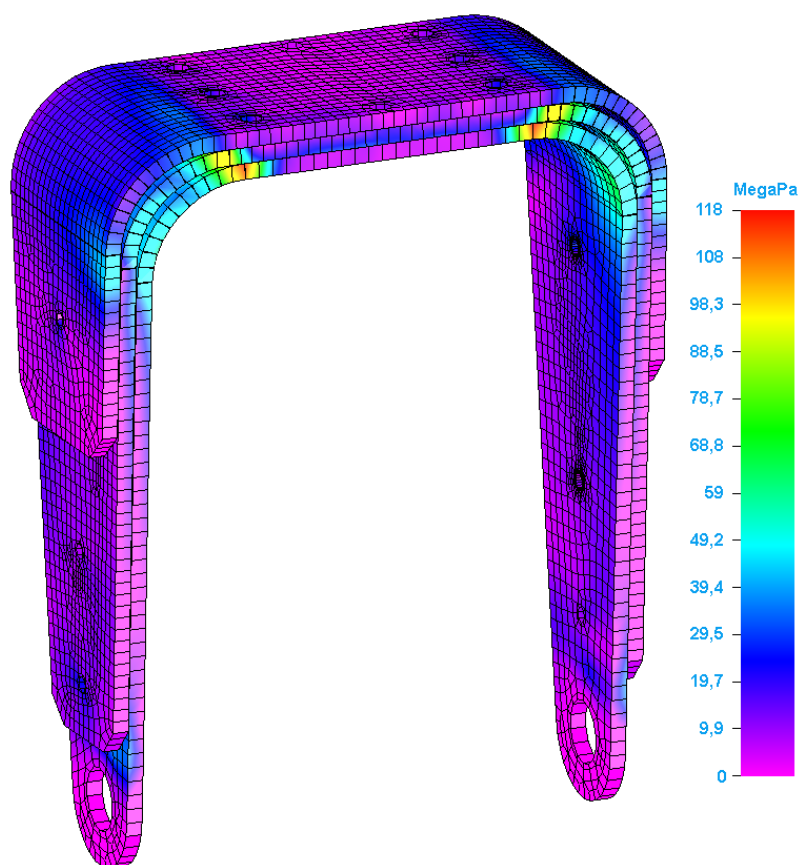
**Príloha F5 Podmienky brzdenia pri pojazde-Najvyššia sila na PPN  
(Prevádzkový prípad)**



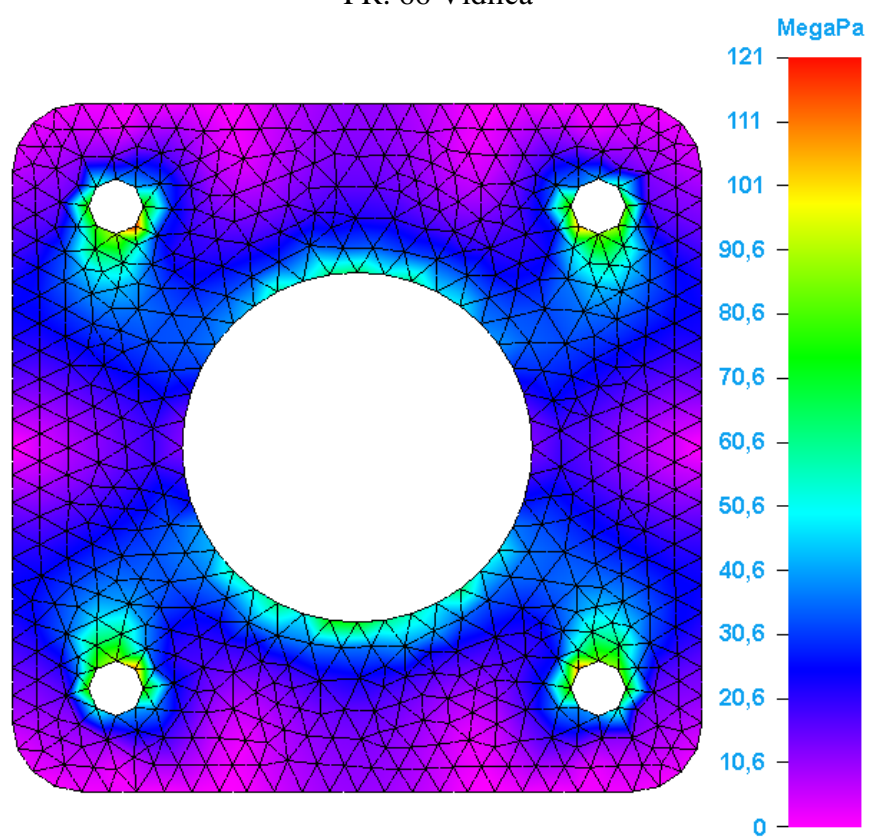
PR. 64 PPN



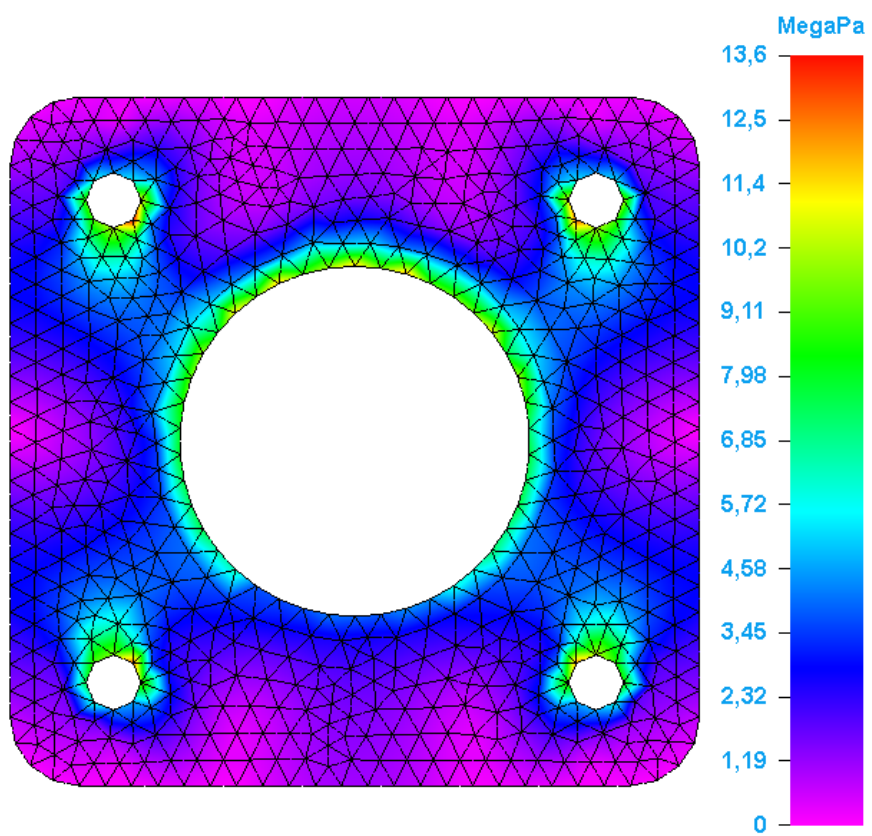
PR. 65 Hlavná trubka PPN



PR. 66 Vidlica

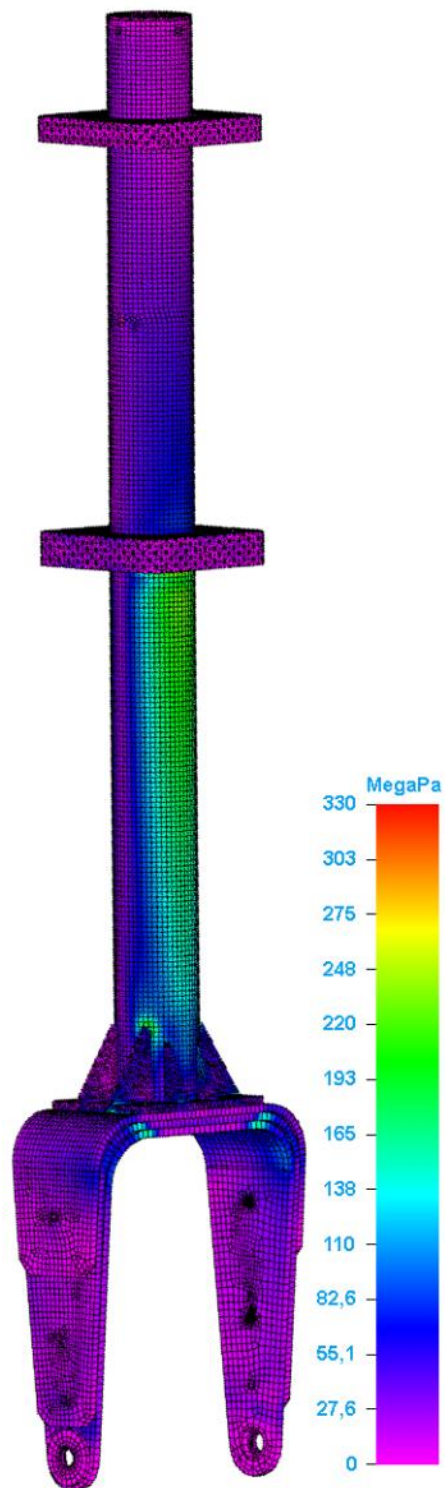


PR. 67 Dolné uloženie

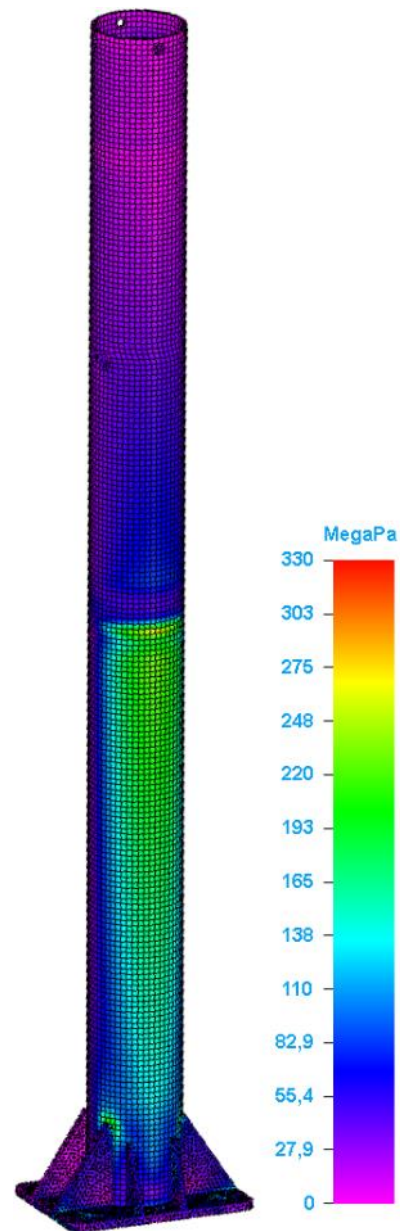


PR. 68 Horné uloženie

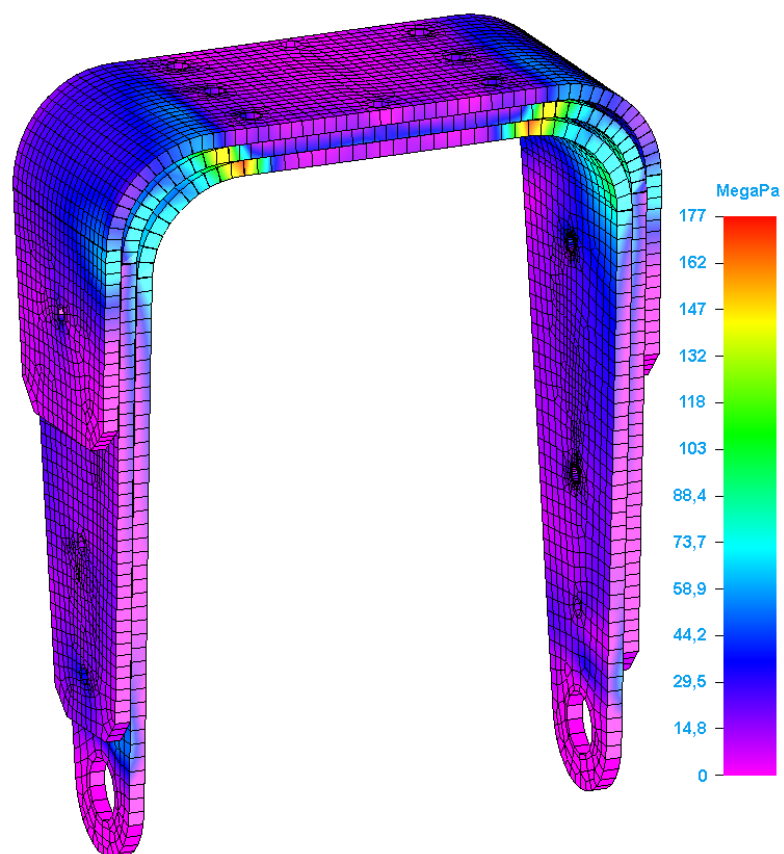
**Príloha F6 Podmienky brzdzenia pri pojazde-Najvyššia sila na PPN  
(Početný prípad)**



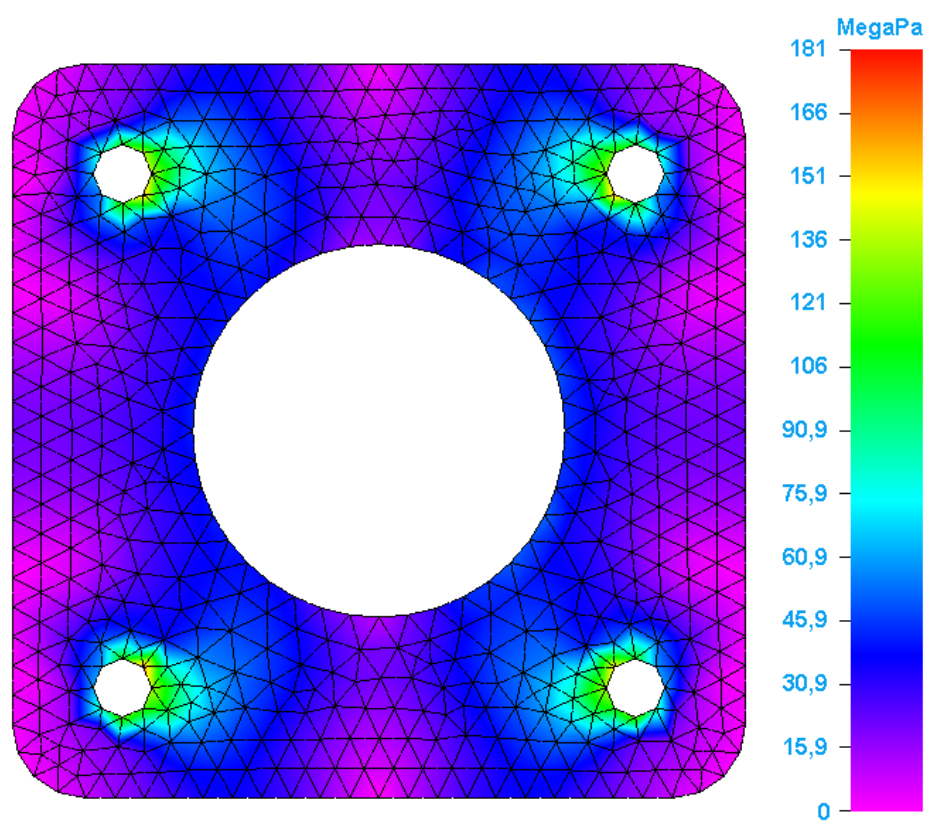
PR. 69 PPN



PR. 70 Hlavná trubka PPN

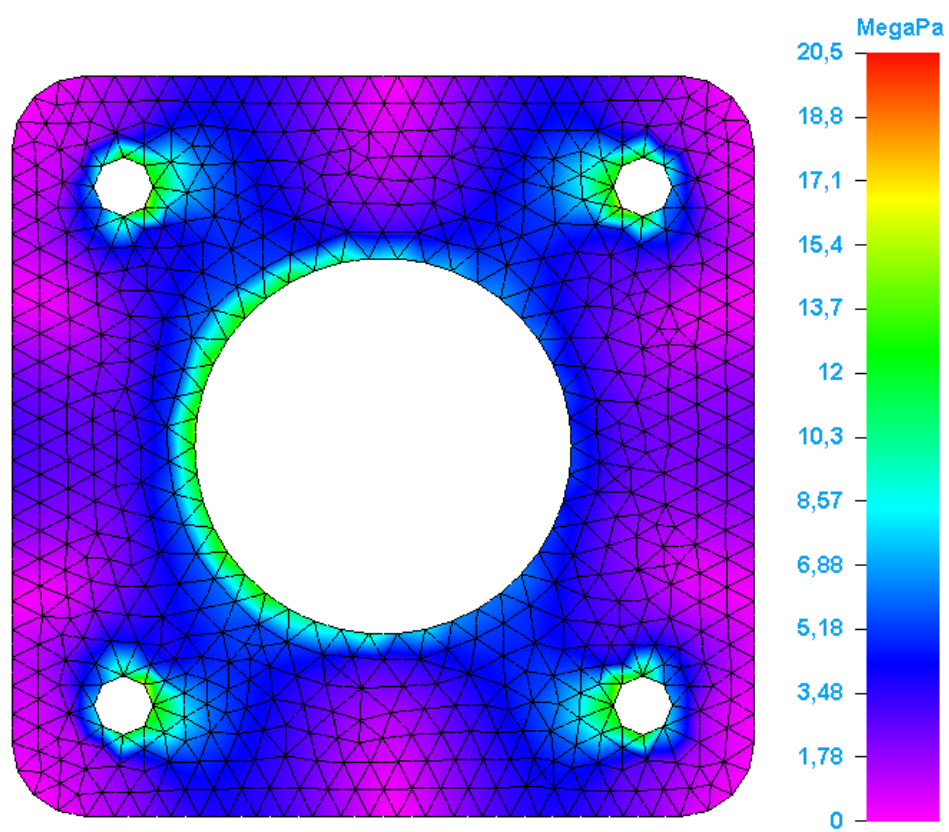


PR. 71 Vidlica



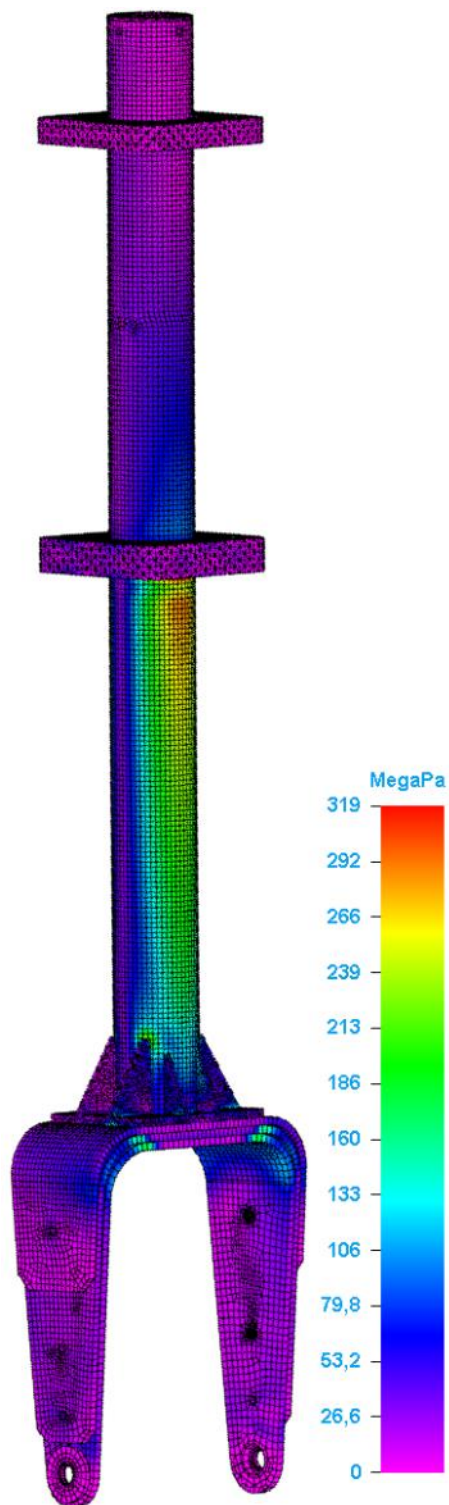
PR. 72 Dolné uloženie



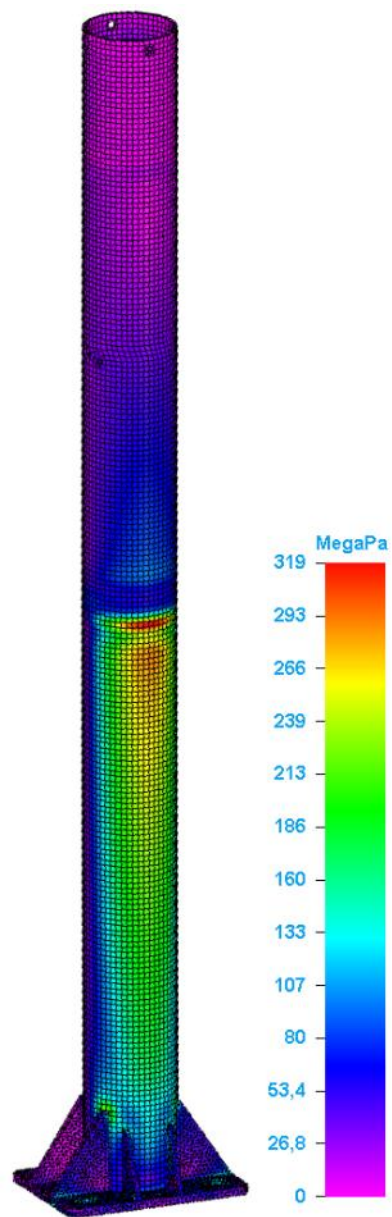


PR. 73 Horné uloženie

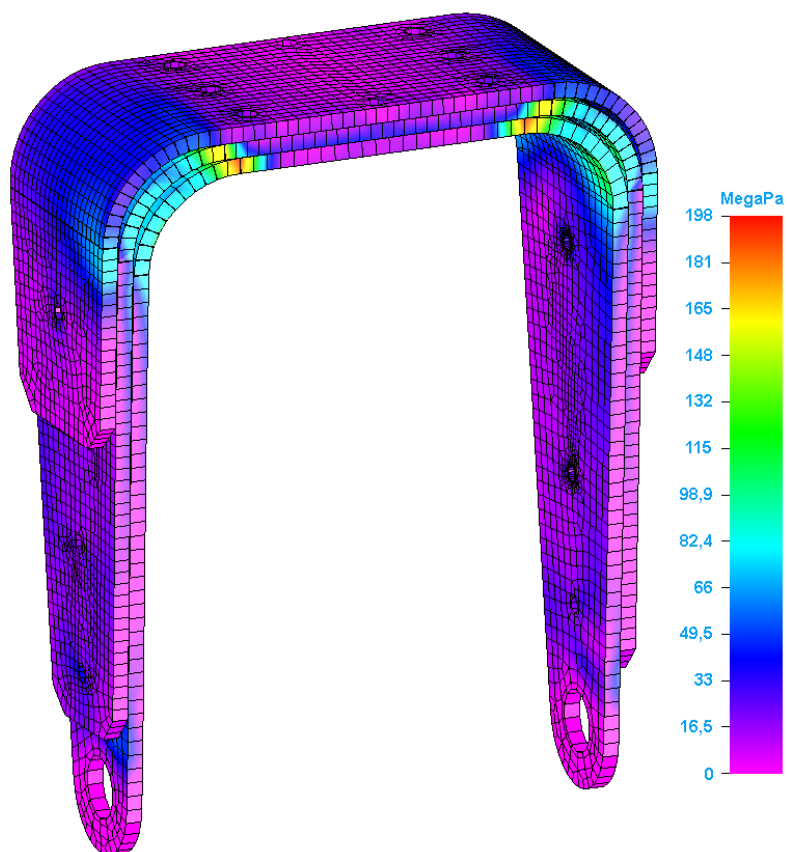
**Príloha F7    Zat'azenie smerom dozadu (Prevádzkový prípad)**



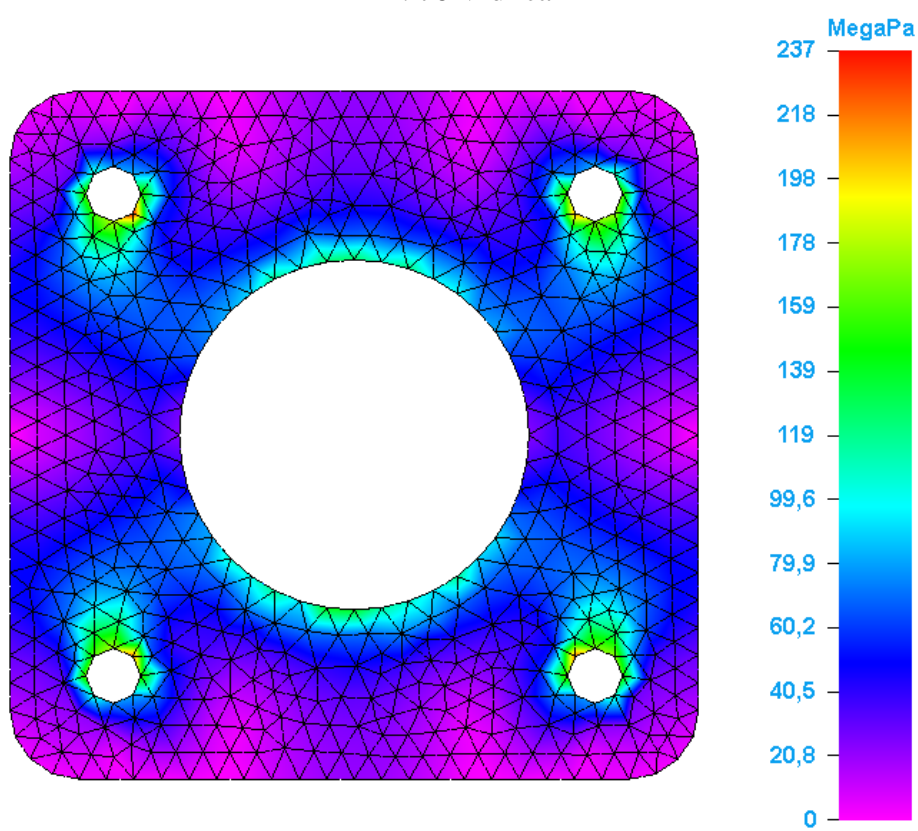
PR. 74 PPN



PR. 75 Hlavná trubka PPN

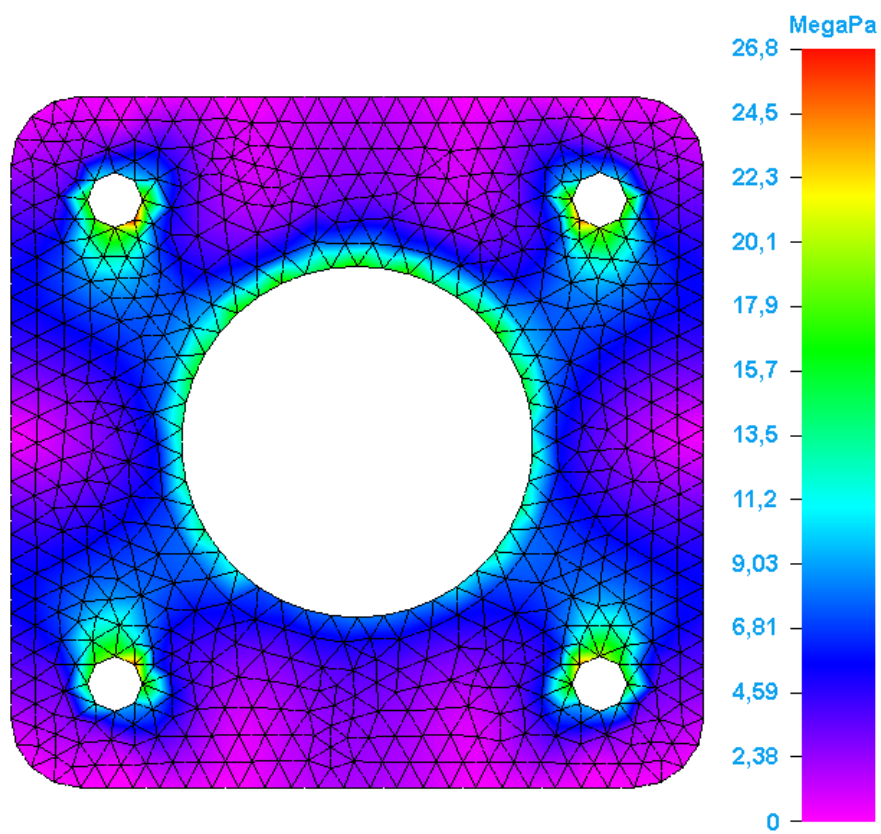


PR. 76 Vidlica



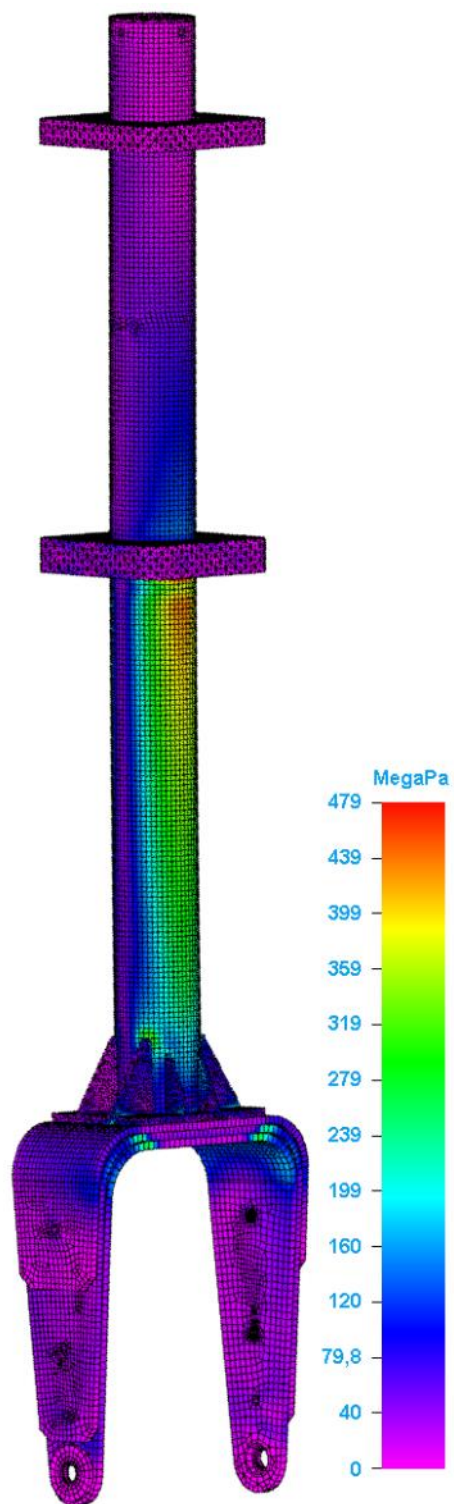
PR. 77 Dolné uloženie



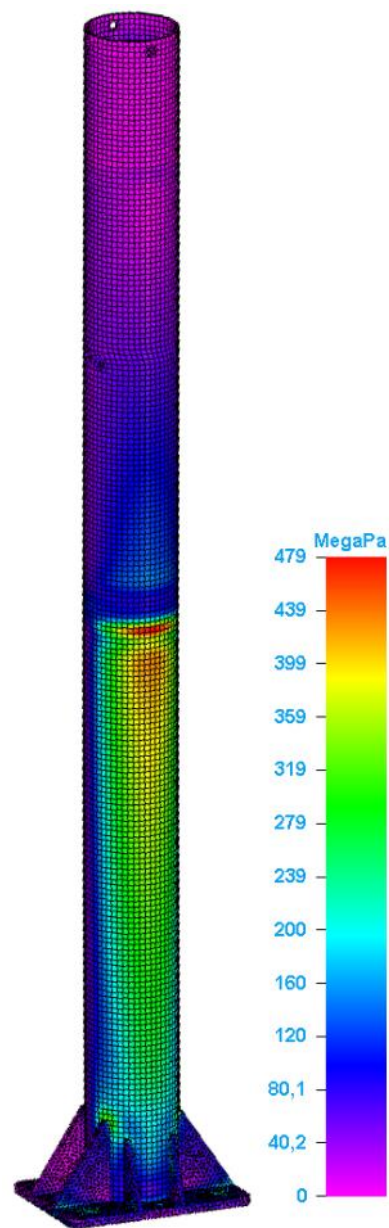


PR. 78 Horné uloženie

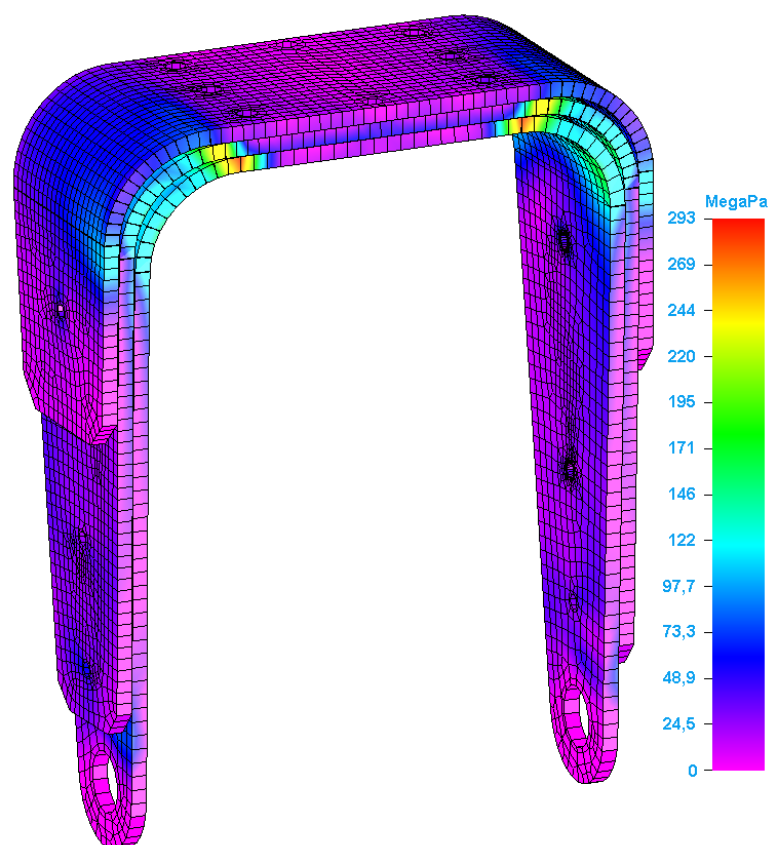
**Príloha F8    Zaťaženie smerom dozadu (Početný prípad)**



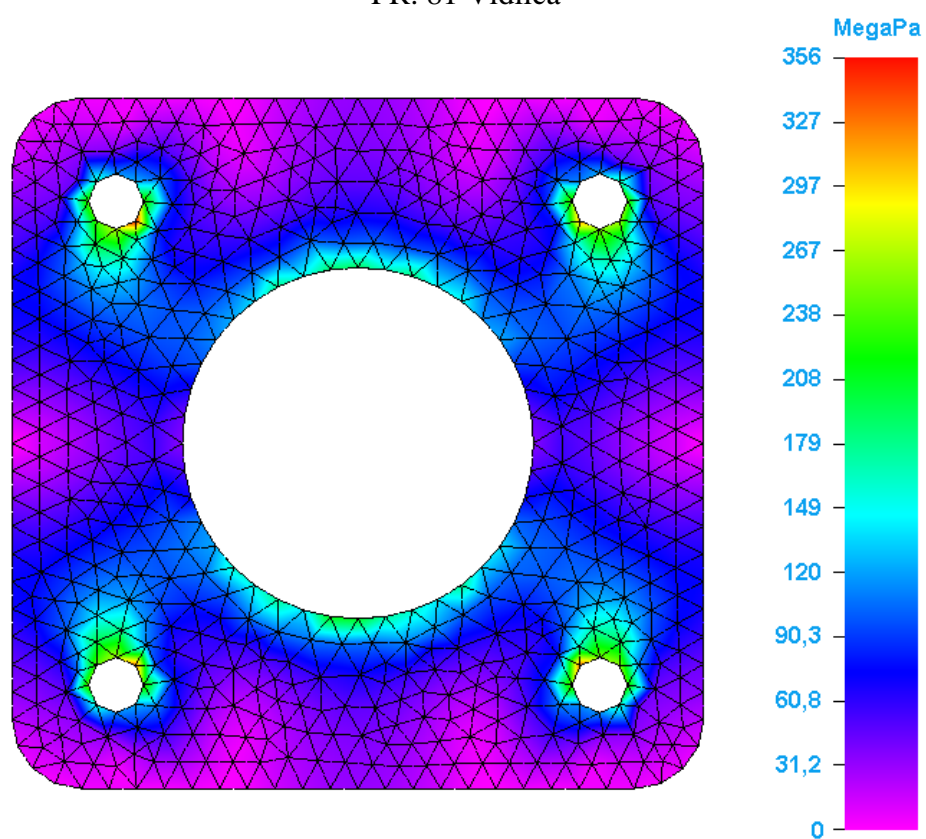
PR. 79 PPN



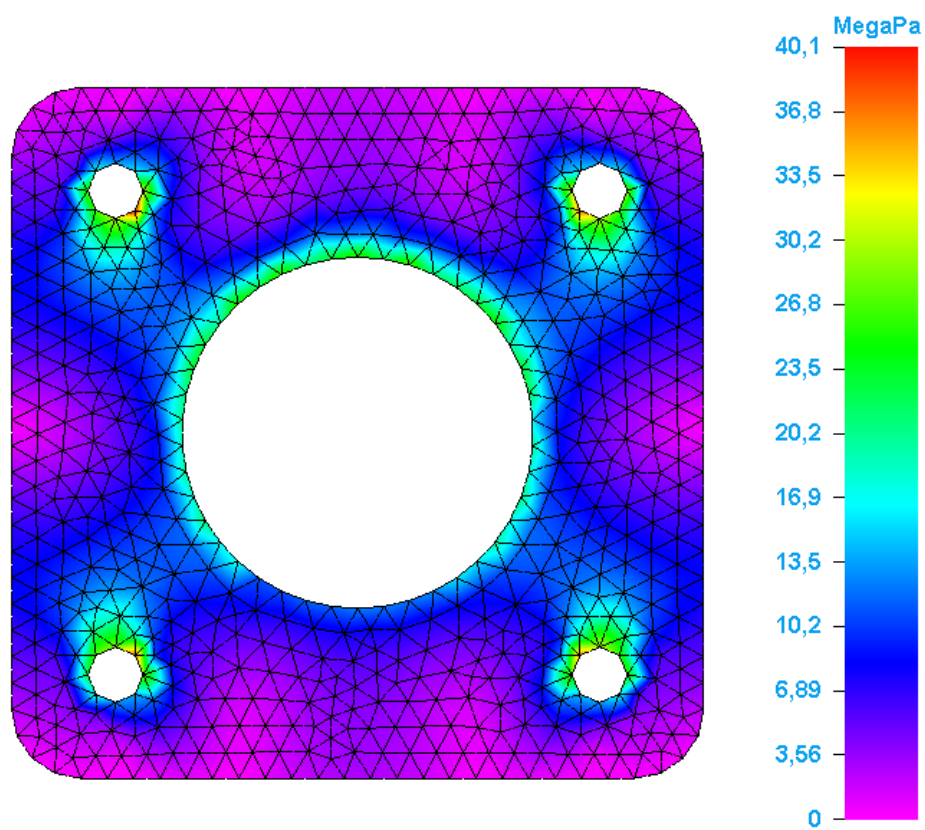
PR. 80 Hlavná trubka PPN



PR. 81 Vidlica

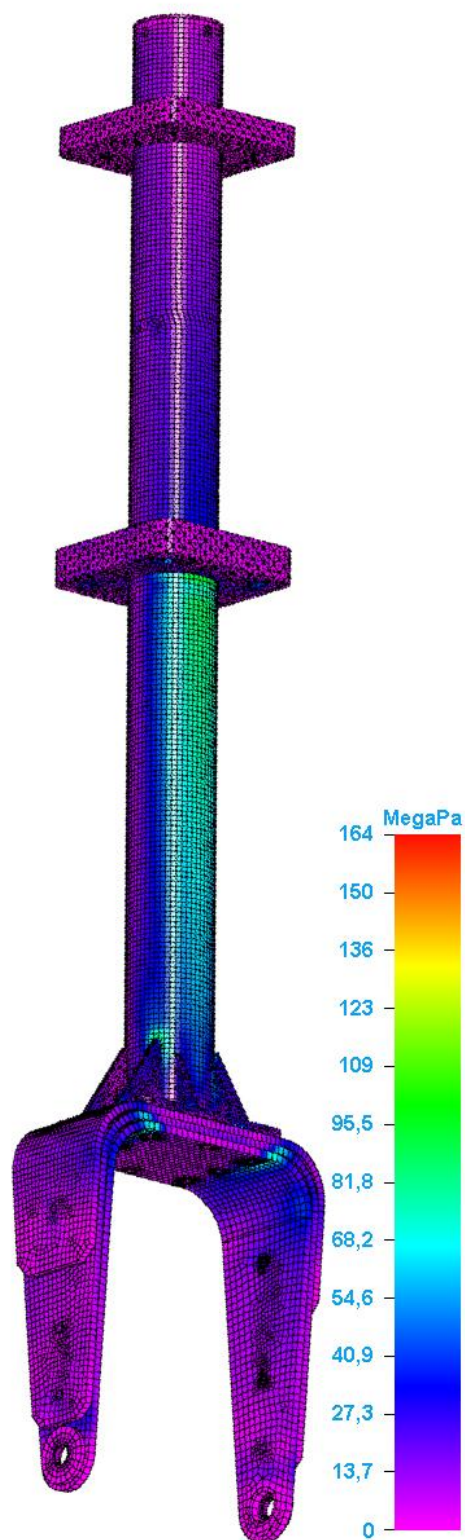


PR. 82 Dolné uloženie

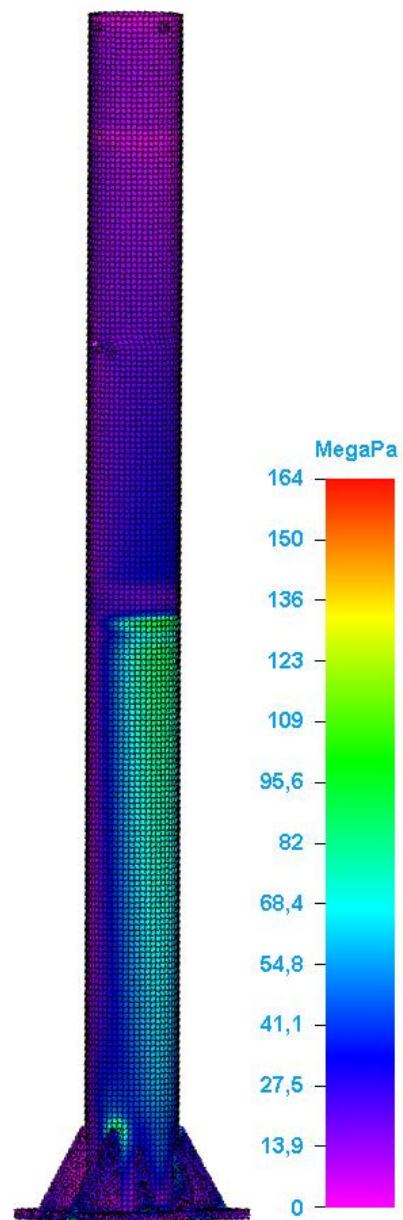


PR. 83 Horné uloženie

**Príloha F9    Zat'azenie smerom dopredu (Prevádzkový prípad)**

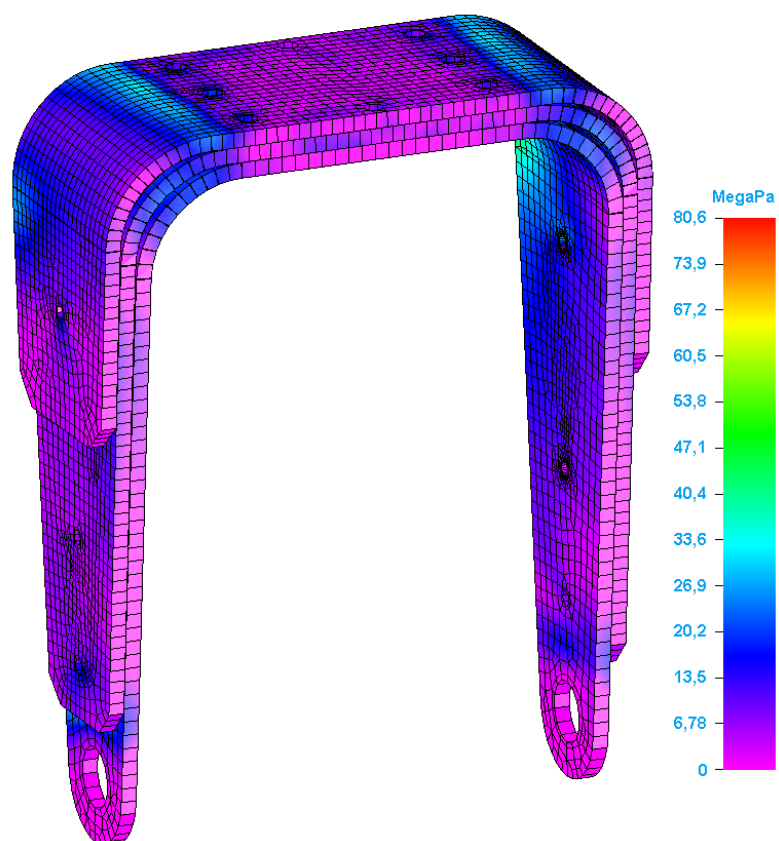


PR. 84 PPN

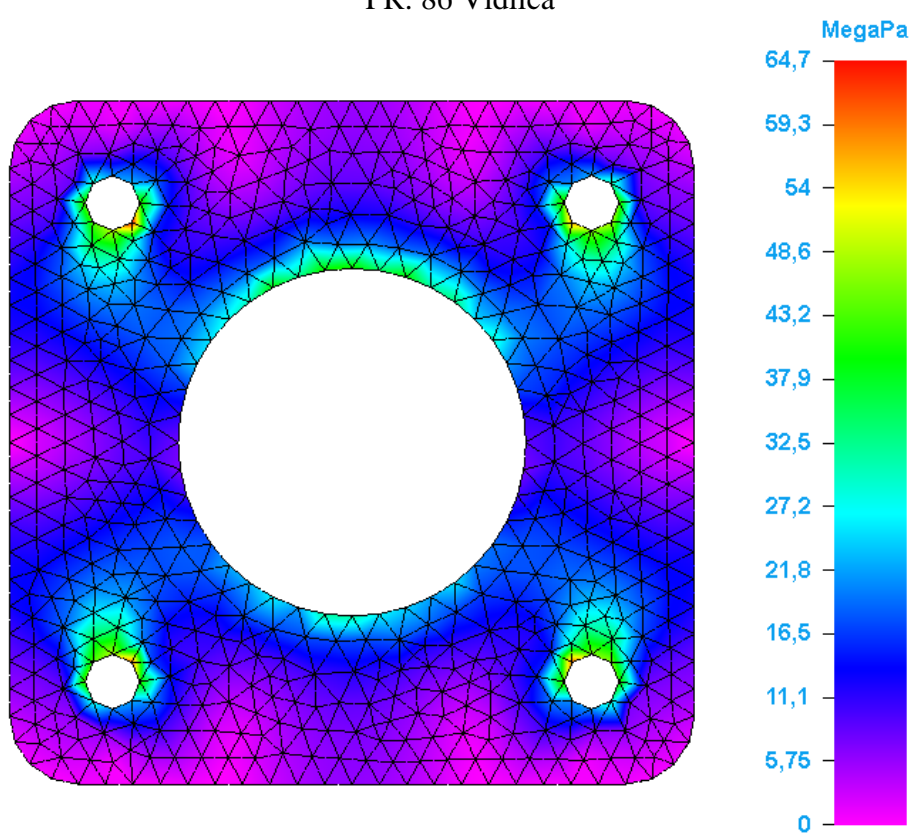


PR. 85 Hlavná trubka PPN

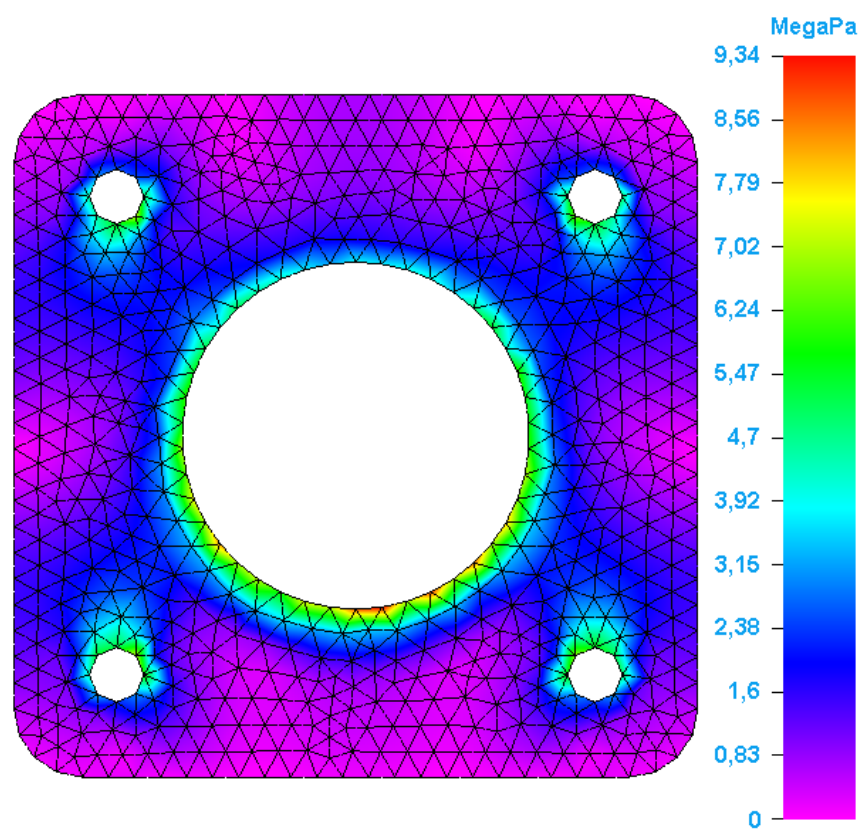




PR. 86 Vidlica

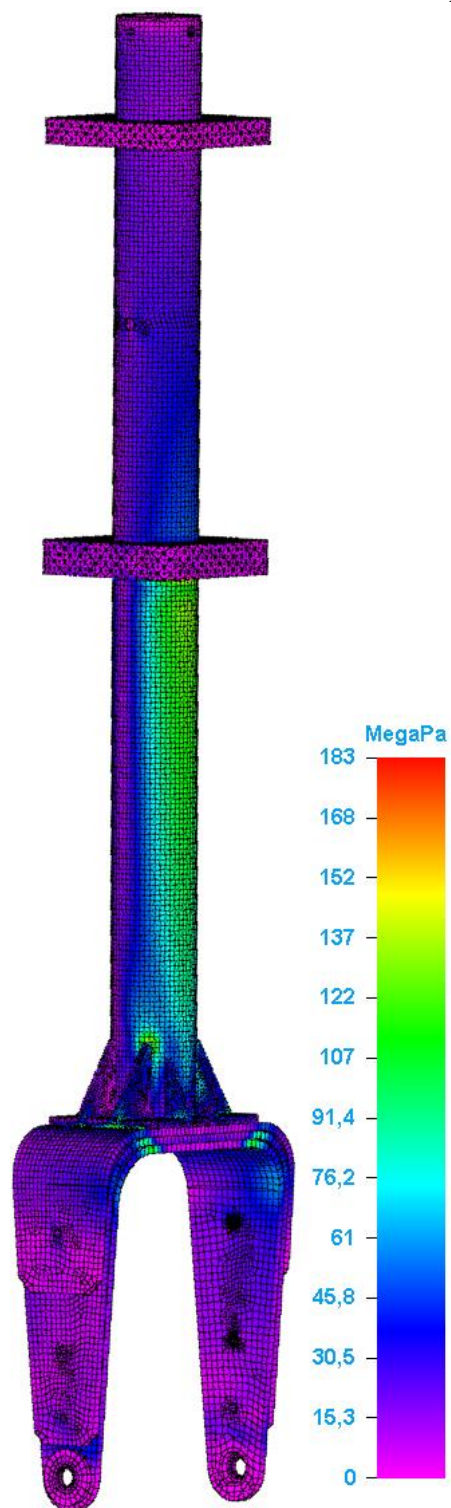


PR. 87 Dolné uloženie

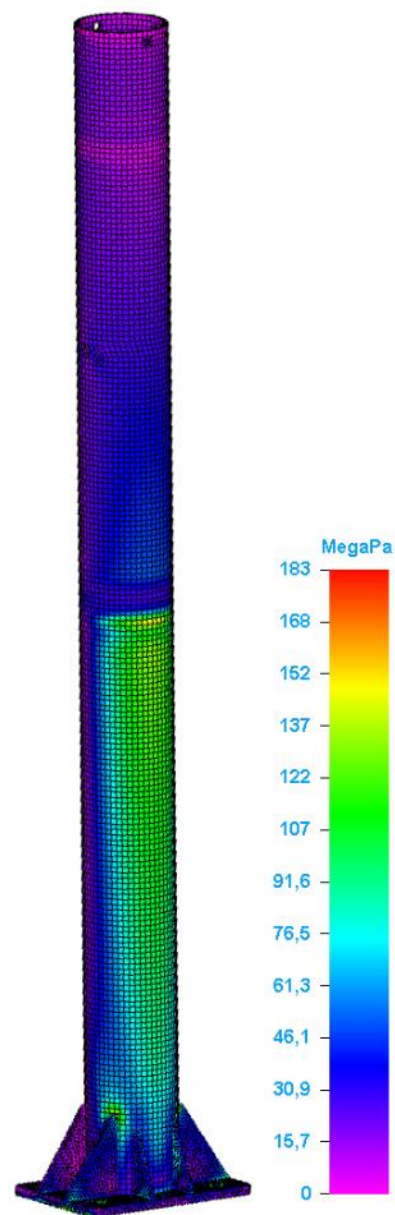


PR. 88 Horné uloženie

**Príloha F10    Zaťaženie smerom dopredu (Početný prípad)**

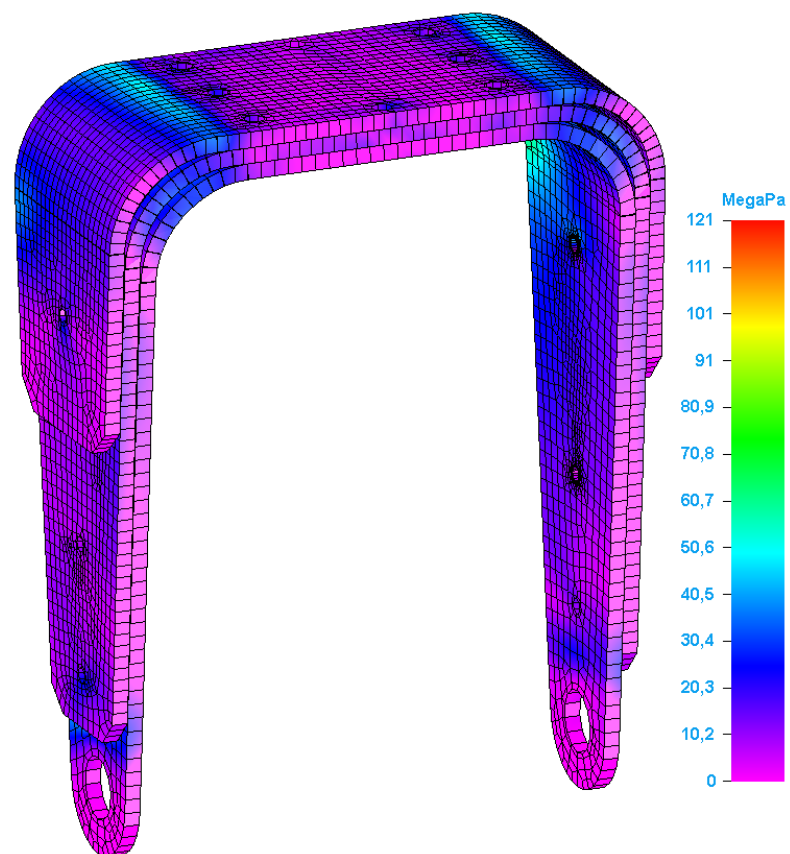


PR. 89 PPN

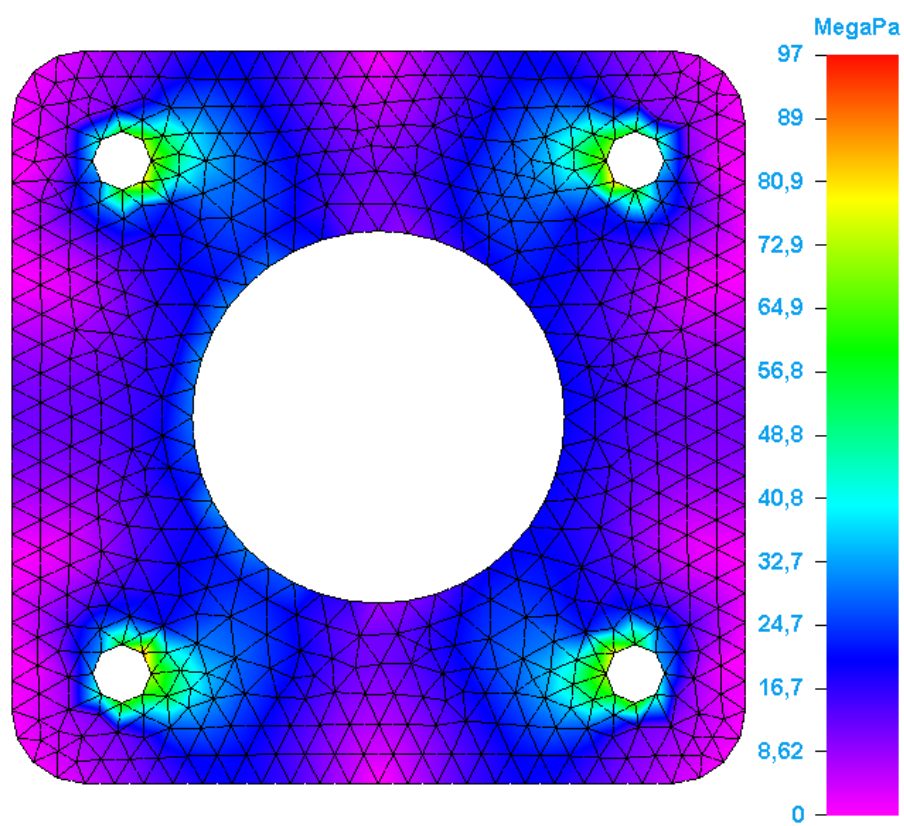


PR. 90 Hlavná trubka PPN

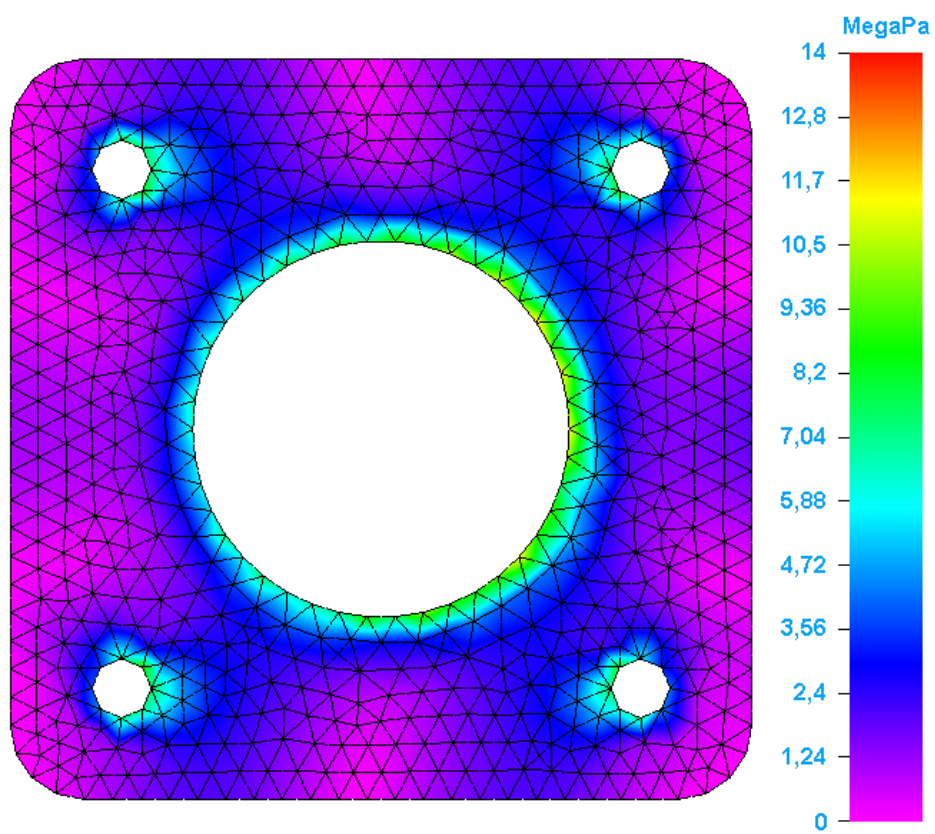




PR. 91 Vidlica

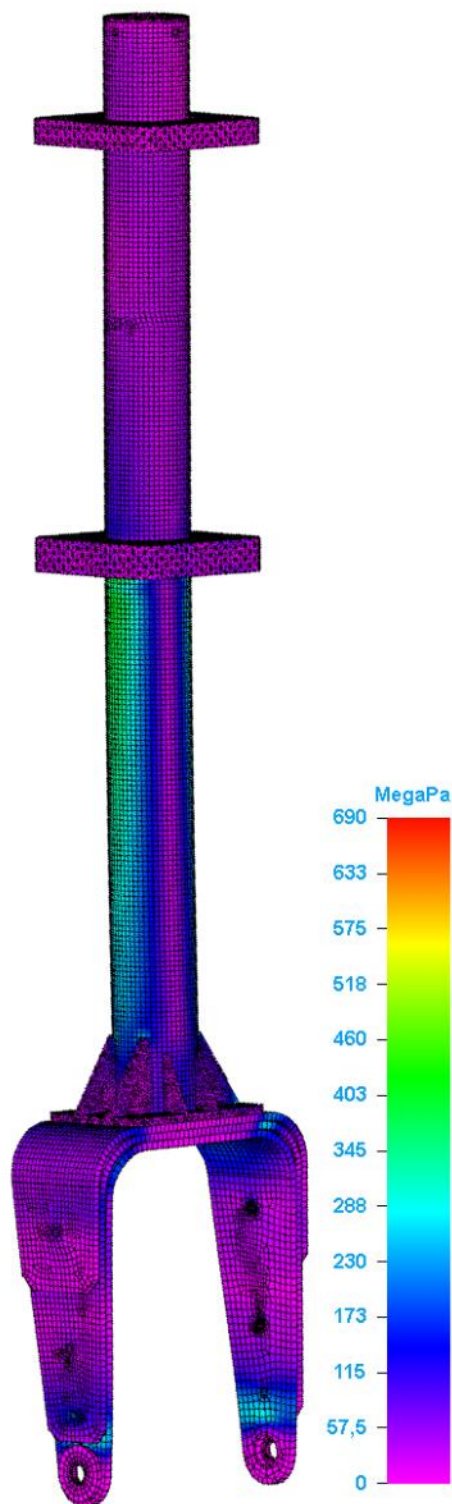


PR. 92 Dolné uloženie

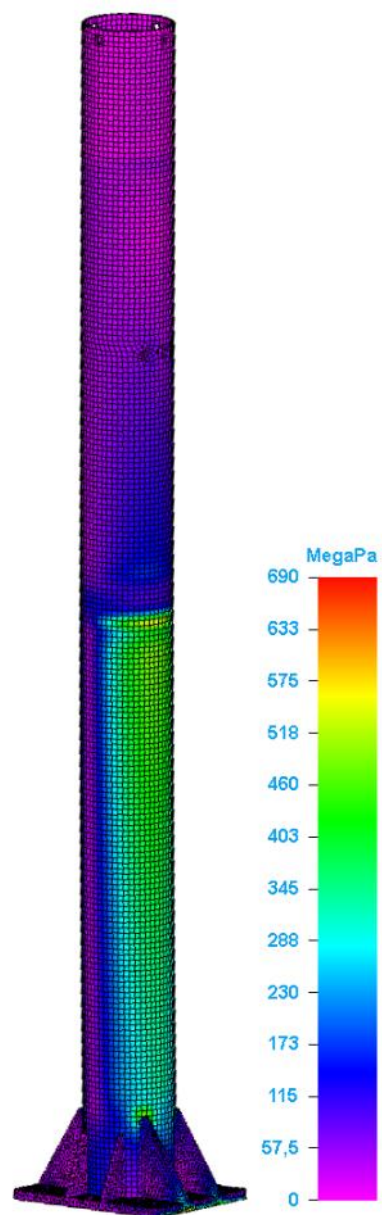


PR. 93 Horné uloženie

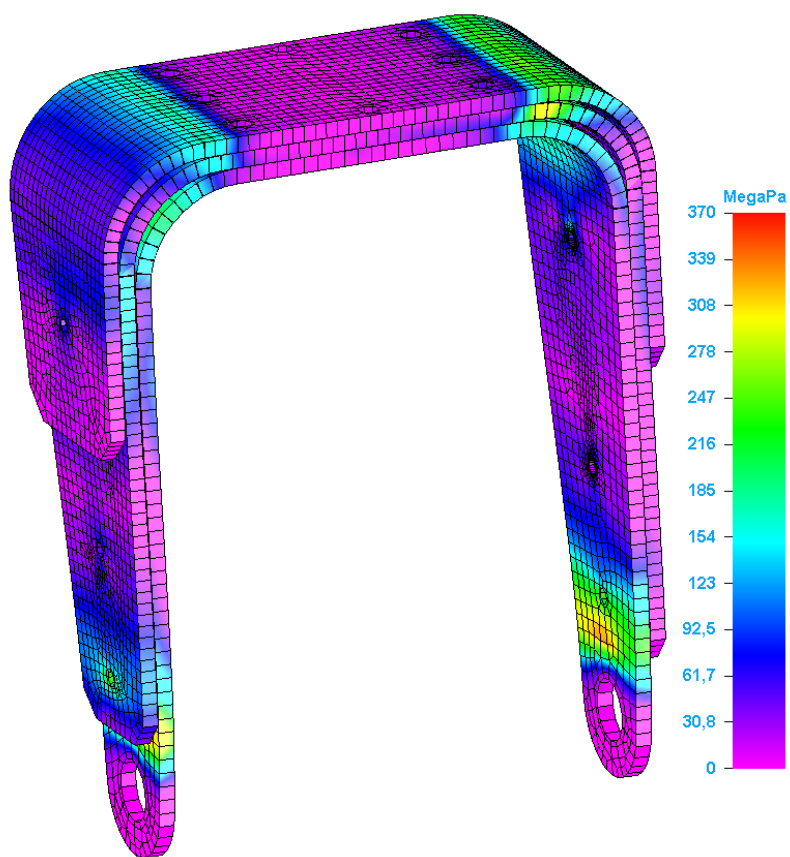
**Príloha F11 Bočné zaťaženie (Prevádzkový prípad)**



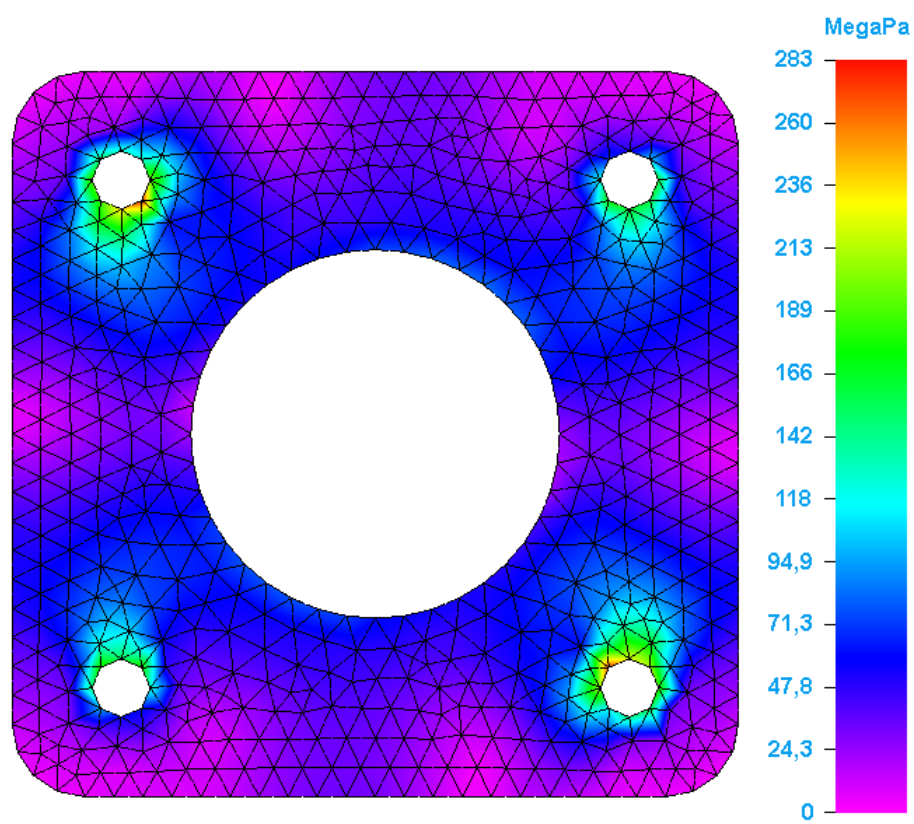
PR. 94 PPN



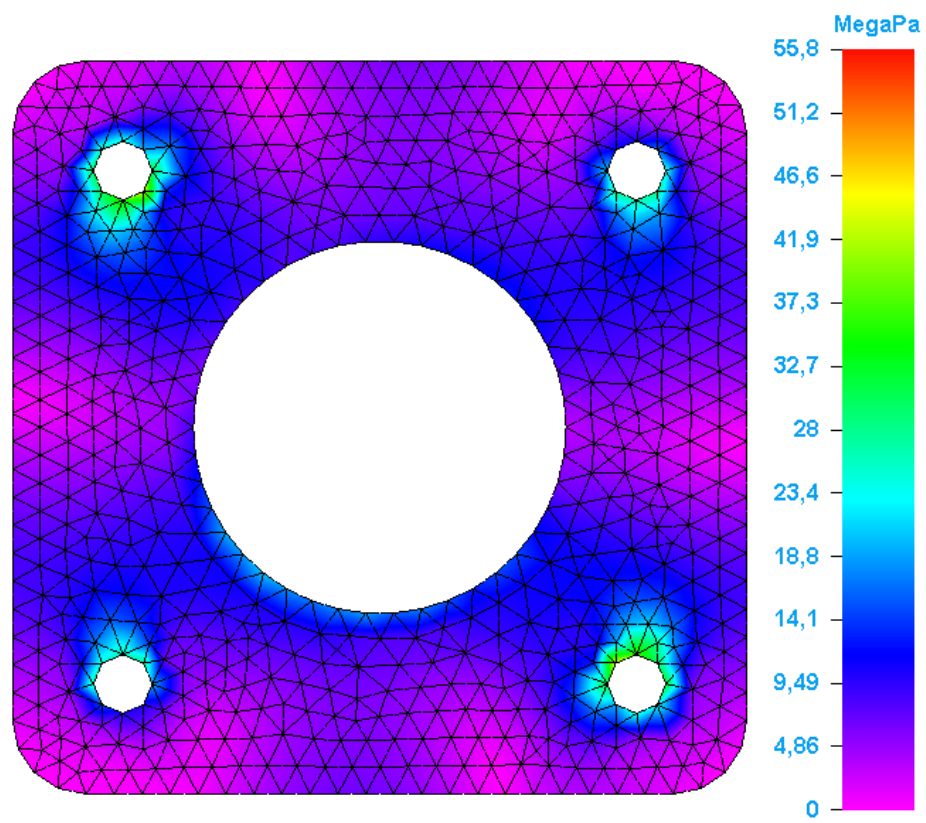
PR. 95 Hlavná trubka PPN



PR. 96 Vidlica



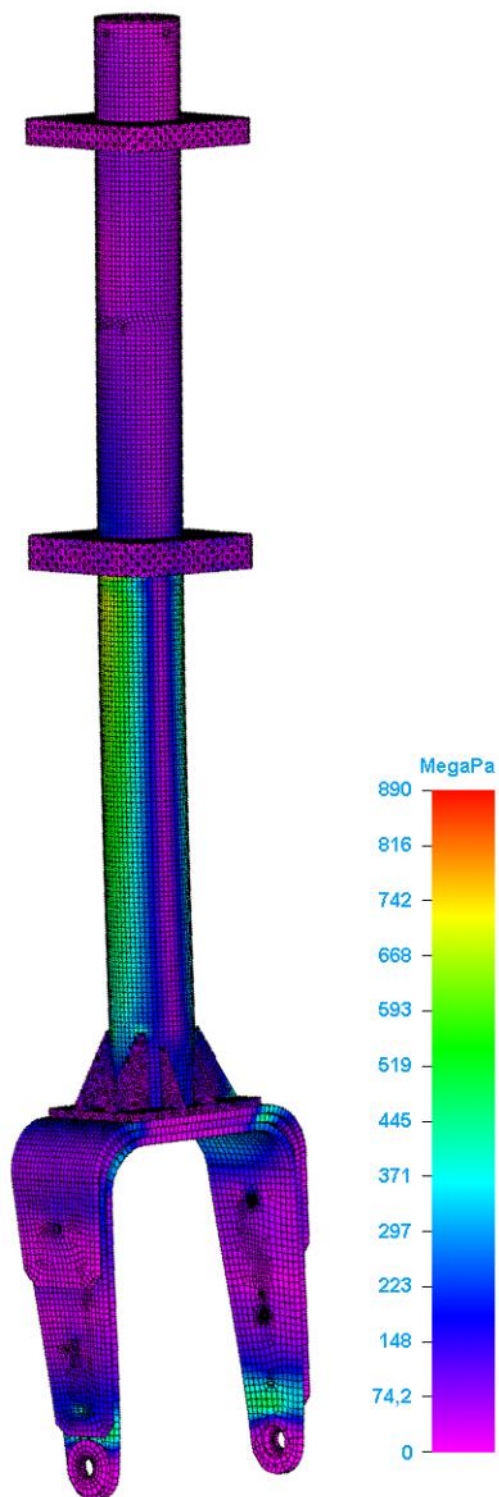
PR. 97 Dolné uloženie



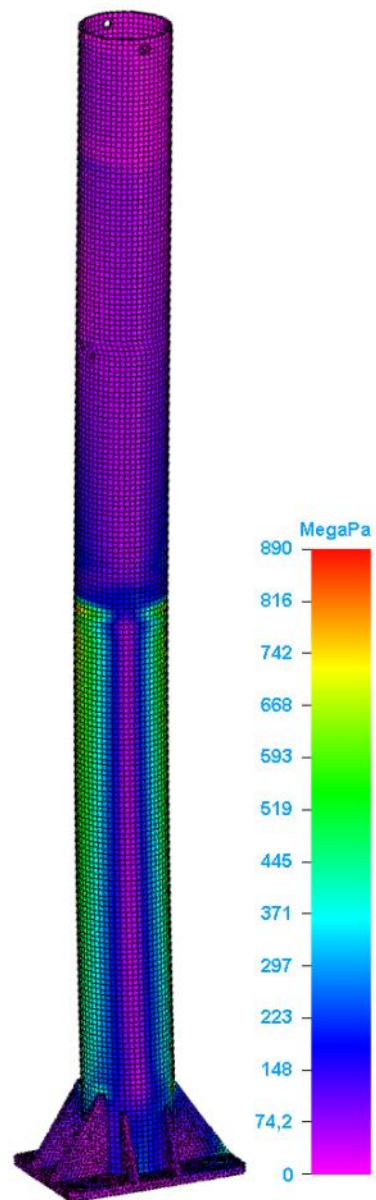
PR. 98 Horné uloženie



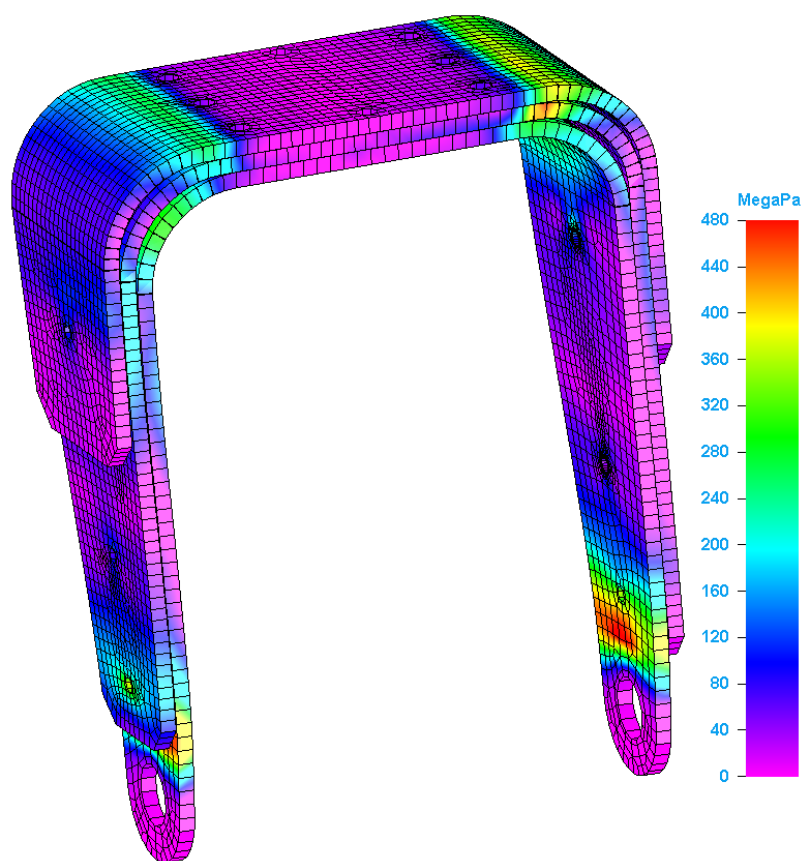
## Príloha F12 Bočné zaťaženie (Početný prípad)



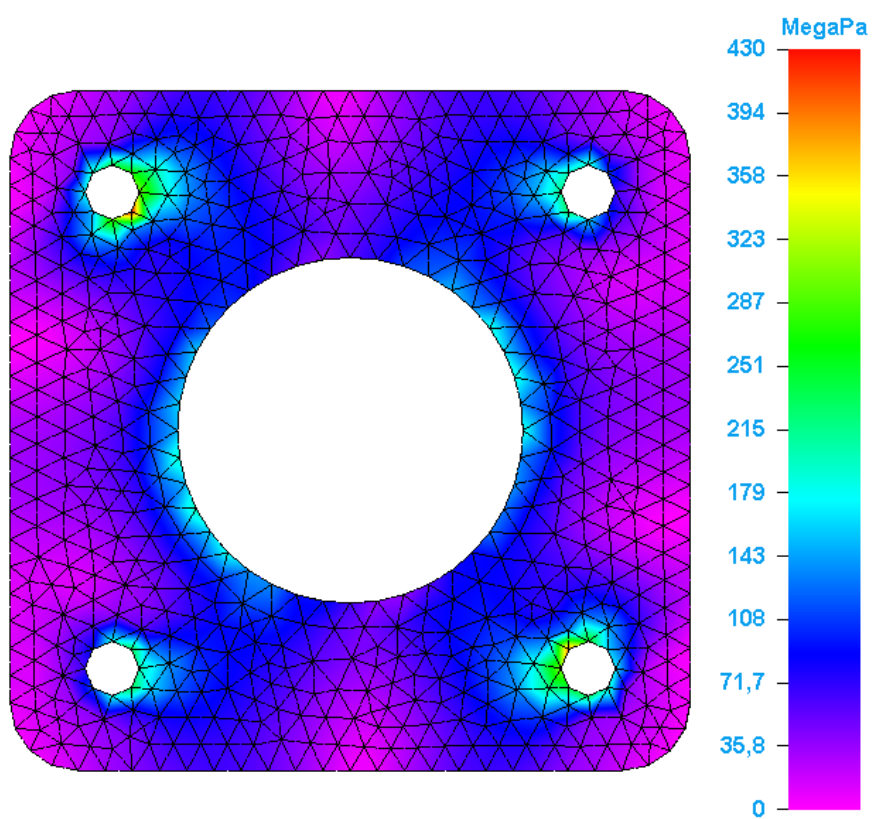
PR. 99 PPN



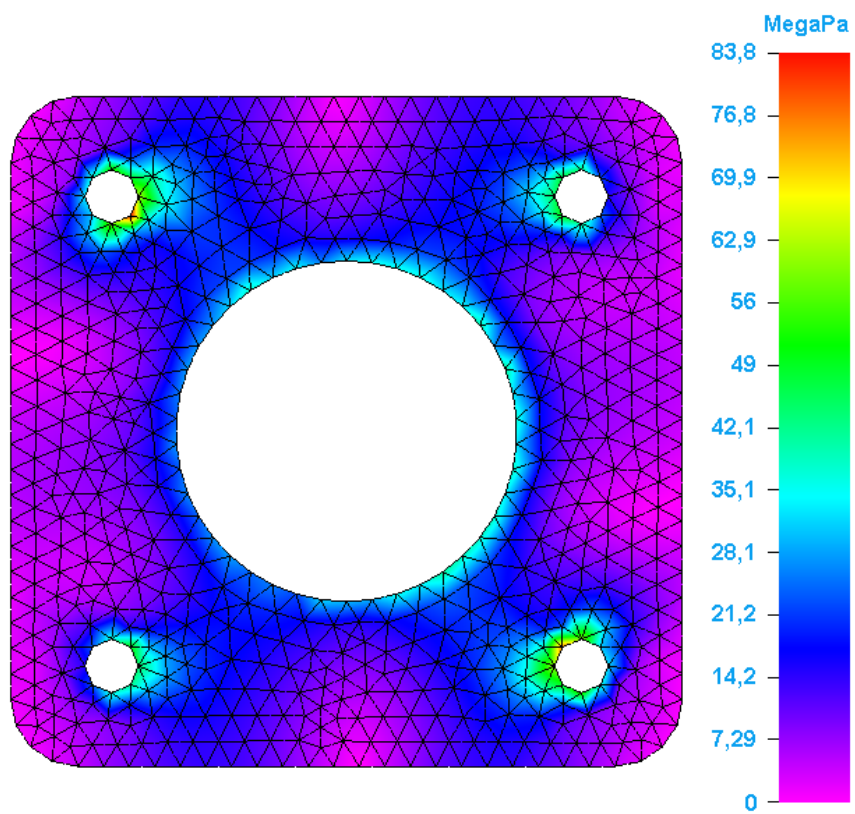
PR. 100 Hlavná trubka PPN



PR. 101 Vidlica



PR. 102 Dolné uloženie



PR. 103 Horné uloženie